



Universidad
Zaragoza

PROYECTO FIN DE CARRERA

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS CERRAMIENTOS EN LA CAPACIDAD RESISTENTE DE LAS ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN

Lucía Sánchez Marta

Dirigido por

Ramón Álvarez Cabal

Luis Gracia Villa

Ingeniería Industrial. Departamento de Ingeniería Mecánica

ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Universidad de Zaragoza

Zaragoza, Diciembre de 2012

RESUMEN

El presente proyecto se centra en el análisis de la influencia que los cerramientos tienen sobre la distribución de cargas en las estructuras. El proyecto se ha realizado dentro de una línea de investigación de la empresa INTEMAC (Instituto de materiales y construcciones).

Las fábricas se concebían antiguamente como parte de la estructura (muros de carga). La mayoría de las actuales parte de un concepto muy distinto, se proyectan como elementos no estructurales. Sin embargo, la realidad es que las fábricas soportan acciones no previstas en proyecto.

El objetivo básico es el análisis de la distribución de cargas entre las fábricas y la estructura de los edificios. Dicho análisis se realizará mediante el programa ANSYS, el cual permitirá resolver, con un adecuado modelado de la estructura y cerramientos, diferentes modelos de elementos finitos.

Para definir el comportamiento de la fábrica de ladrillo es necesario un estudio previo de las características de los cerramientos y de la forma de construcción actual, pues esto condiciona el modelado como material y las uniones con los elementos de la estructura.

Durante el proyecto se realizan distintos modelos sencillos en función de las distintas cargas que afectan a la edificación, tales como la humedad, la retracción del hormigón, la temperatura y la historia de cargas, de tal manera que se pueda obtener el comportamiento global frente a éstos.

Además se estudia un caso real, un edificio de la Barriada de San Fernando (Lorca), debido a que la aparición del sismo ha dejado de manifiesto la gran importancia que los cerramientos tienen sobre la capacidad resistente de las estructuras. El objetivo de este análisis es estudiar la influencia de la tabiquería de fábrica en la distribución de cargas y el comportamiento de un edificio completo frente a las cargas exteriores comentadas.

Por último se repasan aquellas patologías conocidas en los cerramientos de fábrica de ladrillo desde la perspectiva de los resultados obtenidos y la manera de actuar de otros países respecto al tema tratado.

En primer lugar, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho posible este proyecto. Especialmente a mis dos directores, Ramón Álvarez Cabal y Luis Gracia Villa, cuya ayuda y consejos han sido fundamentales para la realización de éste.

También agradecer a mis tíos, Alfonso y Laura, y a mi prima Lau su simpatía y consejos durante todo este tiempo.

Por último, quiero agradecer a aquellos que me han acompañado durante estos años de estudio y dedicación. A mi familia, en particular mis padres, Toño y Eugenia, y mi hermana Alejandra, a mi novio Sergio, y a mis amigos.

Zaragoza, Julio de 2012

Lucía Sánchez Marta

ÍNDICE DE MEMORIA

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1.1. – Entorno | 15 |
| 1.2. – Sismo ciudad de Lorca | 16 |
| 1.3. – Descripción de la obra de fábrica | 17 |
| 1.3.1. – Ladrillos | 17 |
| 1.3.2. – Morteros | 18 |
| 1.4. – Objeto del proyecto | 18 |
| CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE | 20 |
| 2.1. – Respecto al apoyo en el forjado inferior | 21 |
| 2.2. – Respecto al encuentro con el forjado superior | 23 |
| 2.3. – Respecto al encuentro con los pilares | 24 |
| 2.4. – Juntas de dilatación | 25 |
| 2.4.1. – Juntas verticales | 25 |
| 2.4.2. – Juntas horizontales | 25 |
| CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA OBRA DE FÁBRICA | 26 |
| 3.1. – Características Mecánicas | 26 |
| 3.1.1. – Resistencia característica a compresión | 26 |
| 3.1.2. – Módulo de elasticidad, E | 29 |
| 3.1.3. – Resistencia a la tracción, f_{tk} | 31 |
| 3.1.4. – Módulo de distorsión, G | 31 |
| 3.1.5. – El coeficiente de Poisson, ν | 32 |
| 3.2. – Modelizado de la obra de fábrica | 32 |
| 3.2.1. – Criterio | 32 |
| 3.2.2. – Resistencia característica a compresión | 33 |
| 3.2.3. – Módulo de elasticidad, E | 33 |
| 3.2.4. – Módulo de distorsión, G | 33 |
| 3.2.5. – El coeficiente de Poisson, ν | 34 |
| 3.2.6. – Valores de las propiedades mecánicas más habituales | 34 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 4. EFECTOS SOBRE LA ESTRUCTURA | 35 |
| 4.1. – Modelo de elementos finitos | 35 |
| 4.2. – Historia de cargas | 37 |
| 4.2.1. – Caracterización de la historia de cargas | 37 |
| 4.2.2. – Resultados del Modelo de elementos finitos | 37 |
| 4.3. – Expansión por humedad | 39 |
| 4.3.1. – Recomendaciones de la construcción | 40 |
| 4.3.2. – Caracterización de la expansión de la fábrica frente a la humedad | 40 |
| 4.3.3. – Resultados del Modelo de elementos finitos | 43 |
| 4.4. – Retracción del hormigón | 44 |
| 4.4.1. – Caracterización de la retracción del hormigón | 44 |
| 4.4.2. – Resultados del Modelo de elementos finitos | 45 |
| 4.5. – Dilatación por temperatura | 46 |
| 4.5.1. – Caracterización de la dilatación por temperatura | 47 |
| 4.5.2. – Resultados del modelo de elementos finitos | 48 |
| 4.6. – Combinación de factores | 49 |
| 4.6.1. – Caracterización de las combinaciones de cargas | 50 |
| 4.6.2. – Resultados del cálculo de las combinaciones de cargas | 50 |
| CAPÍTULO 5. EDIFICIO DE LA BARRIADA DE SAN FERNANDO, LORCA | 52 |
| 5.1. – Descripción del edificio | 52 |
| 5.2. – Modelo de elementos finitos | 54 |
| 5.3. – Resultados | 55 |
| 5.3.1. – Distribución de esfuerzos | 55 |
| 5.3.2. – Efectos sobre el edificio | 57 |
| CAPÍTULO 6. PROBLEMÁTICA OCASIONADA | 58 |
| 6.1. – Esfuerzo de tracción de los pilares | 58 |
| 6.2. – Fisuras verticales y horizontales | 59 |
| 6.3. – Pandeo del cerramiento | 59 |
| 6.4. – Fisuras en las esquinas | 60 |
| 6.5. – Fisuras alrededor de huecos | 60 |
| 6.6. – Colapso de las juntas de dilatación | 61 |

| | |
|---|-----------|
| 6.7. – Desconchados ----- | 61 |
| CAPÍTULO 7. SOLUCIONES PROPUESTAS----- | 62 |
| CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES ----- | 64 |
| 8.1. – Conclusiones----- | 64 |
| 8.2. – Líneas futuras de actuación ----- | 65 |
| ANEXOS ----- | 67 |
| ANEXO I ----- | 68 |
| RESULTADOS DEL ESTUDIO PARAMÉTRICO DE LOS VALORES DE CARACTERIZACIÓN DE LA FÁBRICA | 69 |
| Valores medios de la obra de fábrica ----- | 69 |
| Valores máximo de la obra de fábrica----- | 69 |
| Valores mínimos de la obra de fábrica----- | 70 |
| Valores de la obra de fábrica según el Cte-se f ----- | 71 |
| RESULTADOS DEL ESTUDIO PARAMÉTRICO DE LA LONGITUD DE LAS LUCES DE LA ESTRUCTURA ---- | 72 |
| Luces = 3 metros ----- | 72 |
| Luces = 4,5 metros ----- | 72 |
| Luces = 6 metros ----- | 73 |
| RESULTADOS DE LA HISTORIA DE CARGAS----- | 74 |
| Primer modelo ----- | 74 |
| Cargas ----- | 74 |
| Estructura ----- | 74 |
| Cerramientos ----- | 75 |
| Segundo modelo ----- | 76 |
| Cargas ----- | 76 |
| Estructura ----- | 76 |
| Cerramientos ----- | 77 |
| Tercer modelo----- | 78 |
| Cargas ----- | 78 |
| Estructura ----- | 78 |
| Cerramientos ----- | 79 |
| RESULTADOS DE LA EXPANSIÓN POR HUMEDAD ----- | 81 |
| Expansión = 0,1 mm/m ----- | 81 |

| | |
|---|------------|
| Expansión = 0,2 mm/m ----- | 82 |
| Expansión = 0,3 mm/m ----- | 83 |
| RESULTADOS DE LA RETRACCIÓN DEL HORMIGÓN ----- | 84 |
| Retracción=0,175 mm/m ----- | 84 |
| RESULTADOS DE LA DILATACIÓN POR TEMPERATURA ----- | 85 |
| Temperatura cerramientos=50; Temperatura estructura =30 ----- | 85 |
| Temperatura cerramientos=60; Temperatura estructura =35 ----- | 86 |
| Temperatura cerramientos=70; Temperatura estructura =40 ----- | 87 |
| RESULTADOS DE LA COMBINACIÓN DE CARGAS ----- | 88 |
| Primera combinación ----- | 88 |
| Segunda combinación ----- | 90 |
| Tercera combinación ----- | 92 |
| RESULTADOS DEL EDIFICIO DE LA BARRIADA DE SAN FERNANDO ----- | 94 |
| Cargas introducidas ----- | 94 |
| Modelo Estructura del edificio----- | 95 |
| Modelo Estructura y Cerramientos del edificio----- | 95 |
| Modelo Estructura, Cerramientos y Tabiquería del edificio ----- | 96 |
| Resultados de la distribución de cargas ----- | 97 |
| Modelo Estructura, Cerramientos y Tabiquería con Efectos Externos ----- | 98 |
| ANEXO II ----- | 99 |
| INFORMACIÓN SOBRE LOS LADRILLOS UTILIZADOS EN EL MODELO ----- | 100 |
| SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS ----- | 105 |
| ANEXO III ----- | 110 |
| BIBLIOGRAFÍA ----- | 115 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Universidad Carlos III de Madrid ----- | 15 |
| Figura 2. Calle de Lorca tras el terremoto ----- | 16 |
| Figura 3. Ejemplo de relleno en Lorca ----- | 21 |
| Figura 4. Solución constructiva de apoyo parcial sobre el forjado ----- | 21 |
| Figura 5. Solución constructiva con lámina impermeable ----- | 22 |
| Figura 6. Retacado con el forjado superior ----- | 23 |
| Figura 7. Relleno de fábrica de ladrillo con viga superior ----- | 23 |
| Figura 8. Relleno de fábrica de ladrillo con pilar ----- | 24 |
| Figura 9. Entestado de fábrica de ladrillo con pilar ----- | 24 |
| Figura 10. Relación típica desplazamiento-tensión en compresión ----- | 26 |
| Figura 11. Fallo típico de compresión en obra de fábrica ----- | 27 |
| Figura 12. Tensión-deformación mortero, ladrillo y fábrica ----- | 28 |
| Figura 13. Tensión-deformación para compresión----- | 30 |
| Figura 14. Diagrama tensión-deformación de una fábrica ----- | 30 |
| Figura 15. Modelo de pórticos analizado ----- | 36 |
| Figura 16. Carga de los cerramientos en función de la rigidez de la obra de fábrica ----- | 37 |
| Figura 17. Porcentaje inicial de cargas que descienden por los cerramientos de la carga total ----- | 37 |
| Figura 18. Axiles en la estructura sin cerramientos de la historia de cargas ----- | 39 |
| Figura 19. Desplazamientos en la estructura sin cerramientos de la historia de cargas ----- | 39 |
| Figura 20. Axiles en la estructura con cerramientos de la historia de cargas ----- | 39 |
| Figura 21. Tensión de Von Mises en la estructura con cerramientos de la historia de cargas ----- | 39 |
| Figura 22. Curva expansión-tiempo en probetas ----- | 42 |
| Figura 23. Axil en la estructura debido a la expansión por humedad de la fábrica ----- | 44 |
| Figura 24. Desplazamientos de la estructura debidos a la expansión por humedad de la fábrica ----- | 44 |
| Figura 25. Desplazamientos vectoriales de la estructura debidos al efecto de la expansión por humedad -de la fábrica ----- | 44 |
| Figura 26. Axil máximo de la estructura frente a la expansión por humedad de la fábrica ----- | 45 |
| Figura 27. Evolución de la retracción del hormigón con el tiempo ----- | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 28. Axiles en la estructura debidos a la retracción del hormigón ----- | 46 |
| Figura 29. Desplazamientos de la estructura debidos a la retracción del hormigón----- | 47 |
| Figura 30. Desplazamientos vectoriales debidos a la retracción del hormigón ----- | 47 |
| Figura 31. Temperatura en las fachadas----- | 47 |
| Figura 32. Edificio de ladrillo cara-vista ----- | 48 |
| Figura 33. Axiles de la estructura debidos a la dilatación por temperatura ----- | 49 |
| Figura 34. Desplazamientos de la estructura debidos a la dilatación por temperatura ----- | 50 |
| Figura 35. Desplazamientos vectoriales debidos a la dilatación por temperatura ----- | 50 |
| Figura 36. Axiles en los pilares debidos a la combinación de los efectos----- | 51 |
| Figura 37. Edificio de la Barriada de San Fernando----- | 53 |
| Figura 38. Imagen virtual del Edificio de la Barriada de San Fernando ----- | 54 |
| Figura 39. Distribución en planta del edificio ----- | 54 |
| Figura 40. Modelo 3D en ANSYS del edificio ----- | 55 |
| Figura 41. Desplazamientos del edificio debido a las cargas gravitatorias ----- | 56 |
| Figura 42. Axiles del edificio debido a las cargas gravitatorias ----- | 56 |
| Figura 43. Distribución de los forjados unidireccionales respecto a la tabiquería y la estructura ----- | 57 |
| Figura 44. Axiles sobre los pilares debidos a la combinación de efectos en el edificio----- | 58 |
| Figura 45. Fisura en pilar por compresión ----- | 59 |
| Figura 46. Fisuras verticales en fachadas de ladrillo----- | 60 |
| Figura 47. Pandeo de la fachada de ladrillo----- | 60 |
| Figura 48. Fisura en la esquina del edificio----- | 61 |
| Figura 49. Fisura en los cerramientos de ventana----- | 61 |
| Figura 50. Colapso de la junta vertical de un edificio ----- | 62 |
| Figura 51. Desconchado de los ladrillo de una fachada----- | 62 |
| Figura 52. Productos Brunswick (Australia) ----- | 63 |
| Figura 53. Producto Strong-tie (USA) ----- | 64 |
| Figura 54. Detalle separación tabiquería-forjado----- | 64 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Porcentaje de cargas estáticas gravitatorias introducidas en cada uno de los modelos ----- | 37 |
| Tabla 2. Distribución de cargas porcentual debida a la historia de cargas del segundo modelo ----- | 39 |
| Tabla 3. Valores de la expansión por humedad de la fábrica analizados ----- | 42 |
| Tabla 4. Valores de los coeficientes de dilatación por temperatura de los materiales ----- | 47 |
| Tabla 5. Cargas térmicas introducidas en cada uno de los modelos ----- | 48 |
| Tabla 6. Especificaciones de las combinaciones de cargas realizadas----- | 50 |
| Tabla 7. Distribución de cargas total en el primer forjado ----- | 55 |
| Tabla 8. Pilares afectados por la tabiquería transversal ----- | 56 |

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. – ENTORNO

El objeto del proyecto es estudiar la problemática interacción estática entre la estructura y la fábrica. El proyecto se realiza dentro de una línea de investigación de la empresa INTEMAC (Instituto Técnico de Materiales y Construcciones), dedicada al control de calidad y asistencia técnica de la construcción.

Las fábricas se concebían antiguamente como parte de la estructura (muros de carga). La mayoría de las actuales parte de un concepto muy distinto. Se proyectan como elementos no estructurales, autoportantes, que envuelven la estructura resistente del edificio (cerramientos) o separan ambientes (particiones) y pueden quedar expuestos a las acciones ambientales existentes, acciones que deben resistir localmente y transmitir a la estructura. Sin embargo, la realidad es que las fábricas soportan acciones no previstas en proyecto debido a la interacción con la estructura, acciones que con frecuencia crean problemas (Figura 1).



Figura 1. Universidad Carlos III de Madrid

Debido a la complejidad del problema y la ausencia de un modelo realista y simple, en el análisis de los edificios, la aportación de los paños de mampostería es a menudo desatendida. Tal suposición puede provocar una importante inexactitud en el comportamiento frente a las acciones esperadas sobre la estructura, puesto que en la realidad su comportamiento como elemento no estructural no se cumple.

1.2. – SISMO CIUDAD DE LORCA

El sismo de la ciudad de Lorca acontecido el 11 de mayo del 2011 puso de manifiesto la debilidad de las edificaciones de nuestro país. Muchas calles de la ciudad de Lorca presentaban tras el terremoto el aspecto que intenta reflejar la Figura 2.



Figura 2. Calle de Lorca tras el terremoto

El desprendimiento de los elementos de fachada fue la causa de daños a personas. Dicho incidente ha puesto en evidencia el estado real de las fachadas existentes, siendo frecuente encontrar falta de apoyo de la fábrica en el forjado, materiales deteriorados o problemas derivados de la ausencia de juntas.

La mayoría de los casos fueron encontrados en los edificios modernos, aquellos dotados de estructura diferenciada del cerramiento, frente a los antiguos, en los que predominaban los edificios con muros.

Cuando la rigidez y resistencia de las fábricas son comparables, cuando no superiores, a las de la propia estructura, ya no cabe la habitual consideración de “elementos no estructurales”, por mucho que en la práctica habitual resulte cómodo mantener la diferenciación.

El planteamiento no es de aplicación exclusiva al caso sísmico. Es bien conocido que, los tan indebidamente designados elementos no estructurales, son precisamente los que en realidad están arriostrando, y de forma eficaz, muchos edificios.

1.3. – DESCRIPCIÓN DE LA OBRA DE FÁBRICA

Las fábricas a las que nos referimos son las compuestas por ladrillos unidos mediante mortero. La industria de la construcción ofrece una gran variedad de ladrillos con diferentes formas, materiales y tamaños. Los sistemas de construcción y materiales también cambian de un país a otro.

1.3.1. – LADRILLOS

Los ladrillos son piezas rectangulares de forma y tamaño variable. Están hechos de arcilla, pizarra, arcilla cocida o mezcla de éstos, y fabricada mediante moldeado, presión o extrusión. Las piezas son cocidas de 750 °C a 1300 °C. Durante el proceso de calentamiento el agua es extraída y las partículas de arcilla se ablandan produciendo la masa del ladrillo debido a las elevadas temperaturas. Entonces sucede una vitrificación parcial y la temperatura es mantenida durante un tiempo establecido. El proceso dura de 40 a 150 horas dependiendo del tamaño y volumen del ladrillo y tipo de horno. El proceso de enfriamiento debe ser controlado puesto que puede afectar a la calidad. Por ejemplo, un rápido enfriamiento puede causar la rotura del ladrillo. Desde que los ladrillos son fabricados mediante diferentes regimenes temperatura-tiempo, pueden tener una gran variedad de propiedades mecánicas y físicas.

Durante el proceso de vitrificación, los alumino-silicatos se forman y muchos de aquellos productos se hidratan posteriormente con la presencia de humedad, provocando que el ladrillo de arcilla se expanda con el tiempo.

Los ladrillos tienen que cumplir el adecuado aislamiento frente a la temperatura y al sonido, además de la reducción del peso del edificio y el coste de la construcción.

La pieza cerámica de ladrillo puede ser clasificada en sólido y hueco dependiendo de la relación entre el área de sección y el área total.

Todos los tipos de ladrillo deberían cumplir con los requerimientos de calidad y resistencia Europeos, EN 771-1-6 (34).

1.3.2. – MORTEROS

El mortero es una mezcla de cemento, agregados y agua usado para unir los ladrillos formando una masa estructural. El mortero fresco puede ser moldeable y cuando endurece debe crear una unión entre los ladrillos para soportar las cargas.

De acuerdo a la clasificación utilizada en el Eurocódigo 6 (8), los tipos de mortero utilizados en la construcción de paños de fábrica son ordinarios, finos o ligeros.

Los morteros se clasifican por su resistencia a compresión, designados por la letra M seguida de la resistencia a compresión en N/mm²; o por su dosificación.

El mortero ordinario para fábrica no será inferior a M1, los morteros finos y ligeros no serán inferiores a M5. En cualquier caso, aunque existen morteros hasta M20, para evitar roturas frágiles de los muros, la resistencia a la compresión del mortero no debe ser superior al 0,75 de la resistencia normalizada de las piezas.

1.4. – OBJETO DEL PROYECTO

El objetivo básico es el análisis de la distribución de cargas entre las fábricas y la estructura de los edificios. El estudio servirá en un futuro para concienciar de la importancia de la situación, poder prevenir los diferentes comportamientos de las construcciones, reconocer posibles fallos asociados y proponer nuevas soluciones constructivas.

Dicho análisis se realizará mediante el programa ANSYS, el cual permitirá resolver, con un adecuado modelado de la estructura y cerramientos, diferentes modelos de elementos finitos.

Para la realización del modelado del paño de fábrica es necesario definir el estado del arte actual, conocer la forma en que los edificios se construyen. Puesto que esto va a condicionar todos los enlaces del paño de fábrica con la estructura resistente, se estudiará en detalle la unión entre el cerramiento y los forjados, y pilares.

Una vez conocido el estado del arte, es fundamental obtener las características de la fábrica como material ortótropo mediante una investigación previa, en la que se obtendrán distintas formulaciones para los parámetros de resistencia característica a compresión, módulo de elasticidad, módulo de distorsión y coeficiente de Poisson. A partir de ellos se realizará un estudio paramétrico en el que se evaluará la influencia de la variación de estos parámetros y de otros geométricos como las luces y la altura.

Con el modelo ya definido, se realizarán a partir de él 4 modelos de elementos finitos, consistentes en un pórtico al que se le introducirán diferentes factores como son la expansión por humedad de la fábrica, la retracción del hormigón, la dilatación por temperatura y la historia de cargas, pudiendo obtener los axiles, los desplazamientos y las distribuciones de cargas que

estos provocan. Para todos ellos se realizará un análisis del fenómeno, un estudio de los parámetros que definen el comportamiento de los elementos afectados por cada uno de los factores, un análisis individual de los resultados y la combinación de todos ellos.

Relacionándolo con el sismo acontecido en la ciudad de Lorca, se introducirá en el programa un edificio de La Barriada de San Fernando (Lorca). Se realizarán tres modelos del edificio; el primer modelo constará únicamente de la estructura, en el segundo modelo se añadirán los cerramientos y por último, las tabiquerías. De esta manera, es posible analizar también la influencia que tiene la tabiquería interior sobre la distribución de carga de los pilares.

Por último se comentará toda la problemática en las edificaciones que los resultados observados ocasionan o pueden ocasionar en la realidad y para evitarlos, se propondrán distintas soluciones y métodos constructivos, algunos de ellos ya utilizados en otros países.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

Aunque proyectadas como no estructurales, las fábricas se ejecutan en muchas ocasiones de tal forma que inevitablemente interaccionan con la estructura. La siguiente imagen muestra un edificio construido de tal manera que en los paños de fábrica sucede lo comentado (Ilustración 3). De hecho, atendiendo a su relación con el contorno, los paños de fábrica se clasifican en:

- *Fábrica aislada*: Apoya de forma isostática en su plano (de forma que las deformaciones en el mismo no producen tensiones) y lo hace de forma igualmente isostática o hiperestática en el normal (frente a viento, normalmente).
- *Fábrica confinada*: Se establece la continuidad mecánica entre el paño de fábrica y la estructura que lo delimita, que forman un único conjunto. En muchas ocasiones ello se consigue construyendo simultáneamente el paño y la estructura de forma que ésta se hormigone contra aquél.
- *Relleno*: La fábrica se topa contra la estructura, previamente construida, pero sin elementos que garanticen la continuidad de la interfase (anclajes mecánicos, llaves de hormigonado, etc.)

Los rellenos de fábrica (Figura 3) son muy comunes en España, los ladrillos perforados se disponen unidos a pilares y forjados, sus caras enrasadas, formando los paños que posteriormente serán revestidos. Los revestimientos aplicables van desde el empleo de morteros hasta la disposición de aplacados.



Figura 3. Ejemplo de relleno en Lorca

Para la realización de un macromodelo de elementos finitos es necesario conocer las soluciones adoptadas para las uniones entre cerramientos y estructura. A continuación se estudiarán las uniones entre los cerramientos y los forjados, tanto inferior como superior, entre cerramientos y pilares y las juntas de dilatación.

2.1. – RESPECTO AL APOYO EN EL FORJADO INFERIOR

En fábricas de ladrillo cara vista, ejecutadas en la mayoría del país y de las épocas con ladrillo métrico (24,0 cm x 11,5 cm x 5,3 cm), es habitual construir la hoja exterior del mismo mediante un aparejo de 1 pie (24 cm) o de medio pie (11,5 cm), apoyado parcialmente sobre el forjado.

Este apoyo parcial según la normativa consultada tiene que ser igual o superior a 2/3 la hoja de ladrillo sobre el forjado (Figura 4).

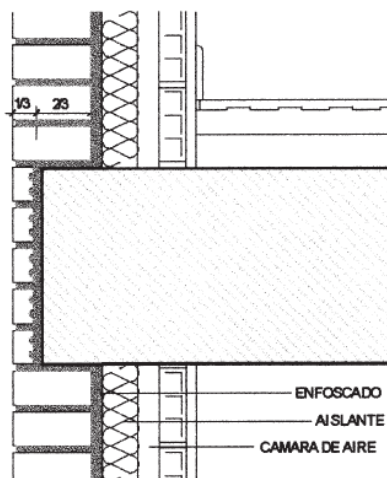


Figura 4. Solución constructiva de apoyo parcial sobre el forjado

Respecto a este apoyo se puede indicar lo siguiente:

1. Toda normativa consultada permite realizar esta solución, tanto si la hoja exterior es de un pie como si lo es de medio pie.
2. Existe una tradición constructiva, consistente en la ejecución de un trasdosado mediante ladrillo hueco doble si la hoja exterior es medio pie, y mediante ladrillo hueco sencillo si la hoja exterior es de un pie. El motivo de esta práctica es dotar al conjunto del cerramiento de una estabilidad mayor, si bien su eficacia frente a acciones horizontales dependería también de otros aspectos, no demasiado tratados en las Normas consultadas, como sistemas de conexión entre hojas.
3. En la normativa se indica la necesidad de apoyar la hoja exterior del cerramiento sobre una lámina impermeable cuya pendiente permita la evacuación del agua procedente de las condensaciones hacia el exterior mediante la existencia de algunas llagas sin rellenar de la hilada más inferior de cada planta (Figura 5).

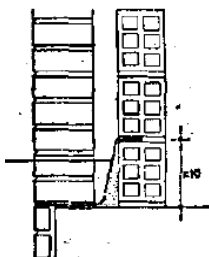


Figura 5. Solución constructiva con lámina impermeable

En la práctica esta solución no es habitual, excepto en zonas del Norte.

En los últimos años, es algo más habitual dejar algunas llagas verticales de la primera hilada sin rellenar, lo que no afecta estructuralmente y consigue la evacuación mediante una cuña de mortero ejecutada en la cámara de aire del cerramiento, por la que discurre el agua procedente de las condensaciones.

4. Por último, en la ejecución de los forjados se permite una tolerancia de hasta 20mm (21) o 25 mm (17) en el replanteo en vertical de dos bordes de forjados consecutivos, y hasta 50 mm en el total de la estructura (21). Además es habitual, tras la retirada del encofrado del forjado, que la superficie de apoyo del cerramiento no sea totalmente horizontal, ni totalmente vertical el frente de forjado. Además, es común la falta de paralelismo entre las aristas de los frentes de forjados.

Estos aspectos hacen que el apoyo de los 2/3 de la longitud del ladrillo se vea comprometido, recurriendo muy habitualmente a la colocación de perfiles metálicos en

el borde de los forjados, que permitan asumir esas desviaciones. Estas desviaciones también influyen en la colocación de estos perfiles, los cuales no encuentran en el frente del forjado la planeidad suficiente para su correcto anclaje, existiendo holguras entre el perfil y el forjado.

2.2. – RESPECTO AL ENCUENTRO CON EL FORJADO SUPERIOR

En toda la biografía al respecto se indica la necesidad de construir la hoja exterior del cerramiento hasta alcanzar la altura de 2 cm por debajo del forjado de la planta superior para posteriormente rellenarla con cemento de mortero. En la NTE-FFL (23) se indica expresamente la no aceptación del cerramiento si no se cumple este requisito.

También se indica (21,3) la recomendación de comenzar la construcción de los cerramientos por las plantas superiores, permitiendo así que los forjados se deformen y desarrollen al menos una parte de su deformación, así como que los cerramientos asienten y alcancen su posición final, para así, 24 horas después, ejecutar el relleno (retacado mediante mortero de cemento) de la holgura de 2 cm indicada anteriormente (Figuras 6 y 7).

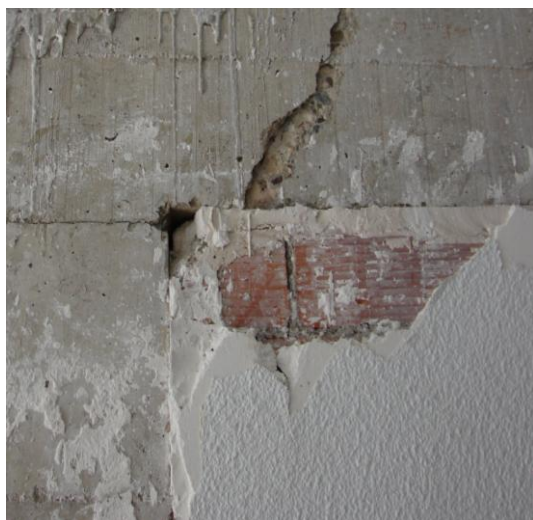


Figura 6. Retacado de fábrica de con el forjado superior



Figura 7. Relleno de fábrica de ladrillo con viga superior

En la práctica habitual si se lleva a cabo este retacado de 2 cm mediante mortero de cemento, si bien, la falta de replanteo del espesor de los tendeles de la fábrica, así como errores en el mismo hacen que esta holgura sea mayor o menor que los 2 cm indicados. La realidad es que en el caso de una holgura mayor de 2 cm se rellena con cascotes y mortero, y en el caso de una holgura menor, difícilmente se consigue su relleno completo.

2.3. – RESPECTO AL ENCUENTRO CON LOS PILARES

Este es el aspecto en el que existe menos documentación. Únicamente se indica que los cerramientos deben estar anclados en sus cuatro lados, para que transmitan los esfuerzos horizontales (23, 18).

Es necesario indicar que las Normas existentes al respecto de la construcción de cerramientos hacen referencia a las exigencias térmicas y de impermeabilización que han de cumplir éstos, condicionando el encuentro con los pilares a estos aspectos.

En la práctica habitual, la solución más utilizada es aquella en la que el cerramiento entesta contra el pilar, una vez ejecutado éste (Figuras 8 y 9). Además, la práctica habitual de comenzar la ejecución del aparejo por los extremos del cerramiento, asegura el encuentro a tope contra el pilar. Previo a la ejecución del cerramiento, es usual colocar una lámina plástica alrededor del pilar, que permite independizar los movimientos entre pilar y cerramiento. El chapado del pilar se realiza con ladrillos partidos. En ocasiones, se disponen algunas armaduras en los tendeles, con objeto de disminuir la figuración vertical del cerramiento.



Figura 8. Relleno de fábrica de ladrillo con pilar



Figura 9. Entestado de fábrica de ladrillo con pilar

En algún caso se disponen elementos de anclaje entre los pilares y los cerramientos, si bien algunos de estos elementos como flejes metálicos son especialmente contraindicados en algunos documentos (7).

2.4. – JUNTAS DE DILATACIÓN

2.4.1. – JUNTAS VERTICALES

Sobre las juntas verticales encargadas de absorber tanto las dilataciones, térmicas y por humedad de las fábricas, como la retracción de las estructuras, son aceptables las disposiciones del EC-6 (8), aunque existe cierta carencia en la determinación de su tamaño por disposiciones constructivas.

2.4.2. – JUNTAS HORIZONTALES

En los cerramientos de fábrica de ladrillo todos los técnicos hablamos de juntas verticales para permitir la dilatación longitudinal de los mismos. Sin embargo, inexplicablemente y en contra de las leyes físicas, es muy escaso el número de los mismos que hablan de la dilatación en altura de fábricas y, por consiguiente, de las juntas horizontales.

Parece difícil abstraer a los cerramientos de nuestro hábito de verlos íntimamente ligados a los forjados. De ser portantes han pasado a ser portados y, por lo tanto, su tratamiento ha de ser como el de cualquier cerramiento constituido por paneles. Con la solución de cerramiento tradicional es muy difícil imaginar la posibilidad de realizar juntas horizontales de dilatación, dadas las implicaciones que tendría en el actual sistema.

La NTE-FFL (23) dice literalmente “Entre *la hilada superior del cerramiento y el forjado o elemento horizontal de arriostramiento se dejará una holgura de 2 cm. que se rellenará posteriormente (retacará), al menos transcurridas 24 horas, con mortero de cemento*”. Esta recomendación está encaminada precisamente en sentido contrario a dejar junta entre la fábrica y el forjado. La NTE-FFL (23) se preocupa de la estabilidad al vuelco de su fábrica, pero ignora la circunstancia de las deformaciones de la estructura donde se encuentra, así como las dilataciones de las fábricas, olvidando la junta horizontal necesaria.

También es corriente encontrar en numerosos artículos “*La hoja exterior del cerramiento se coloca EMPOTRADA entre los soportes a ambos lados, y arriba y abajo, entre los forjados de las estructuras porticadas*” cuando se refiere a la estabilidad horizontal de la fábrica, con lo que nuevamente se obvia la transmisión de esfuerzos verticales.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA OBRA DE FÁBRICA

3.1. – CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

3.1.1. – RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN

La fábrica de ladrillo presenta un excelente comportamiento frente acciones de compresión. La resistencia característica a compresión es uno de los parámetros más importantes para cuantificar las características de la fábrica, por lo tanto a lo largo del tiempo ha sido estudiado por un gran número de investigadores.

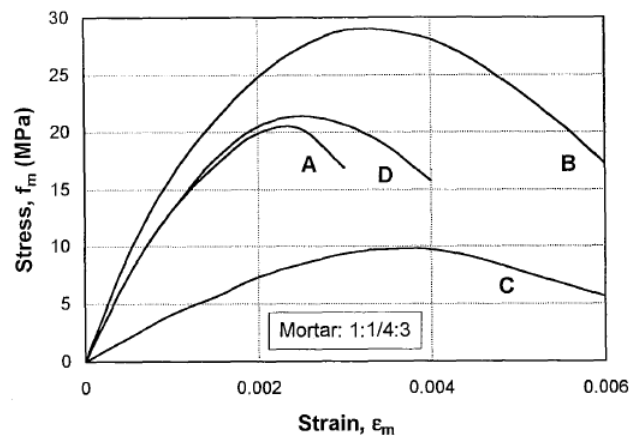


Figura 10. Relación típica desplazamiento-tensión en compresión

La resistencia característica a compresión de la fábrica depende tanto de las propiedades mecánicas de los materiales que la componen como de la forma en que son combinados (Figura 10). A continuación se presentan los principales factores que afectan a la resistencia:

1. *La resistencia a compresión de los ladrillos:* Es un indicador de la calidad del ladrillo. Además, de la resistencia a tracción, otro factor importante, también depende de la resistencia a compresión de la unidad de fábrica.
2. *La resistencia del mortero:* La resistencia a compresión de la fábrica aumenta con la del mortero.
3. *El espesor de la junta:* La resistencia a compresión de la fábrica es mayor para juntas de mortero de pequeño espesor.
4. *Capacidad de absorción y retención de agua:* El agua absorbida genera cavidades en el mortero haciéndolo más débil, además el exceso de agua puede provocar una pobre adhesión entre el mortero y el ladrillo. Este es un problema complejo puesto que en general la resistencia a compresión de la fábrica decrece cuando la capacidad de absorción de agua del ladrillo aumenta, sin embargo, los valores muy bajos de absorción también pueden resultar perjudiciales.
5. *Mano de obra:* El principal defecto es el rellenado incompleto de las juntas. En el caso de tratarse de juntas horizontales puede llegarse a reducir la resistencia a compresión de la fábrica en un 33%.
6. *Diseño del muro de fábrica:* Las distintas posibles configuraciones de la formación del muro de ladrillo según [Sahlin S., 28] no influyen en la resistencia a compresión del muro de fábrica.
7. *Dirección de la carga de compresión:* Si la carga se produce en la dirección paralela a las juntas horizontales, la resistencia se reduce significativamente.

Los muros de mampostería cargados en la dirección perpendicular a las juntas horizontales muestran un comportamiento lineal para bajos niveles de carga. Si la carga de compresión aumenta, el comportamiento se vuelve no-lineal apareciendo grietas verticales (Figura 11).

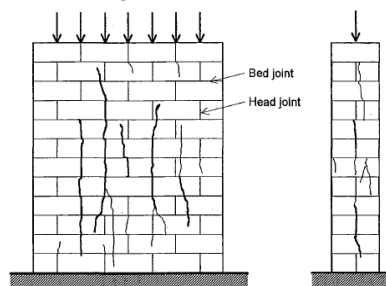


Figura 11. Fallo típico de compresión en obra de fábrica

Este tipo de fallo es debido a la interacción entre el ladrillo y las juntas de mortero. Al estar sometidos a las fuerzas de compresión, ambos materiales se expanden, sin embargo, la deformación lateral del mortero es mayor que la del ladrillo provocando en los ladrillos una tensión lateral de tracción. La combinación de la carga de compresión y la lateral provoca la rotura. [Crisafulli, 9]

Gran número de investigadores han tratado de formular la relación entre las propiedades de la fábrica y las de los componentes de los materiales que la forman (Figura 12).

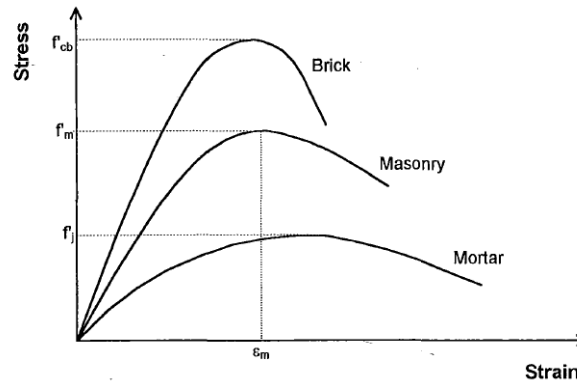


Figura 12. Tensión-deformación mortero, ladrillo y fábrica

Muchas formulaciones empíricas han sido propuestas a lo largo de los años, pero hay que tener en cuenta que éstas están realizadas en unas condiciones y con unos materiales determinados.

Algunas de las formulaciones realizadas para fábricas de ladrillo están recogidas en [Crisafulli, F.J., 9]:

- a. [Hendry, A. W., 15] propone las siguientes expresiones.

$$f'_m = 1.242 f_{cb}^{0.531} f_j^{0.208} \text{ (MPa)}$$

$$f'_m = 0.334 f_{cb}^{0.778} f_j^{0.234} \text{ (MPa)}$$

- b. [Kirtschig, K., 19] aporta la siguiente formulación.

$$f'_m = 0.161 f_{cb}^{0.43} E_j^{0.26} \text{ (MPa)}$$

- c. [Mehlmann, M. and Oppermann, B., 20]

$$f'_m = 0.83 f_{cb}^{0.66} f_j^{0.18} \text{ (MPa)}$$

Por otro lado el Eurocodigo 6 (8) y en consecuencia el CTE_DB_SE_F (21) basado en él, proponen la siguiente formulación:

$$f'_m = K f_{cb}^{0.65} f_j^{0.25} \text{ (MPa)}$$

K una constante dependiendo del tipo de fábrica

Cuando la carga de compresión es aplicada en la dirección paralela a las juntas horizontales, el fallo ocurre por la desvinculación a lo largo de éstas debido a la propagación lateral del panel [Page, A.W., 26]. La resistencia a compresión se ve significativamente reducida.

El comportamiento bajo compresión en dirección paralela a las juntas de mortero recibe menos atención. Sin embargo, la fábrica de ladrillo es un material anisótropo.

[Crisafulli, F.J., 9] cita resultados experimentales de diferentes investigadores. La resistencia característica en la dirección paralela a las juntas presenta reducción del **15%** [Samarasinghe, W. and Hendry, A. W., 29], **40%** [Page, A. W., 26] y **43%** [Page, A. W., 25].

Otros resultados más restrictivos presentados por [Hoffmann, G and Schubert, P, 16] muestran que la resistencia característica en la dirección paralela a las juntas puede variar entre un **20%** y un **80%**. En el caso de ladrillos macizos, la relación puede tomarse como 1,0.

3.1.2. – MÓDULO DE ELASTICIDAD, E

El módulo de elasticidad de la fábrica puede ser evaluado en los ensayos a compresión. Dada la curva tensión-deformación mostrada de la fábrica, cuya rotura es de tipo frágil, podemos observar como llegado a *f_m* desciende rápidamente (Figura 13):

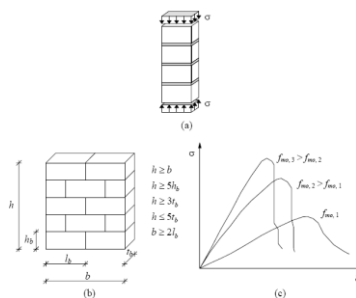


Figura 13. Tensión-deformación para compresión

El módulo de elasticidad es definido como el módulo de elasticidad secante. Los valores entre los que se obtiene la secante para hallar el módulo varían de unos métodos a otros.

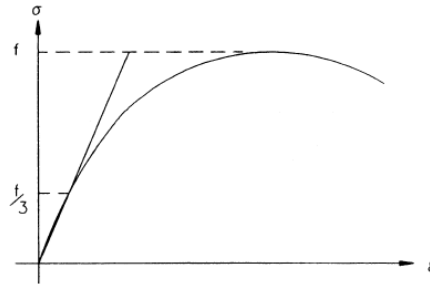


Figura 14. Diagrama tensión-deformación de una fábrica

De acuerdo con [Tomazevic, M, 33], se establecen rangos de las propiedades mecánicas puesto que la dispersión de los resultados obtenidos mediante distintas formulaciones y ensayos experimentales es muy importante.

Al igual que para la resistencia característica a compresión son numerosas las formulaciones que se han realizado a lo largo del tiempo.

[Crisafulli, F.J., 9] recoge distintos modelos para calcular el modulo de elasticidad:

- a. Varios investigadores han llegado a la misma expresión asumiendo lineal el comportamiento de ambos materiales y formulando la deformación de compresión de la fábrica como la suma de la deformación del ladrillo y las juntas de mortero:

$$E_m = E_b \frac{\left(\frac{b}{j} + 1\right)}{\left(\frac{b}{j} + \frac{E_b}{E_j}\right)}$$

- b. [Sahlin, S., 28] comparó los resultados de una gran cantidad de tests experimentales. La mayoría de aquellos resultados variaban entre:

$$400f_m < E_m < 1000f_m \text{ (MPa)}$$

- c. Además propuso la siguiente expresión para el cálculo del módulo elástico:

$$E_m = 750 f'_m \text{ (MPa)}$$

- d. [Sinha, B. P. and Pedreschi, R., 30] testearon varias muestras con diferentes tipos de ladrillo y de mortero. Basándose en los resultados propusieron la siguiente expresión:

$$E_m = 1180 f'_m{}^{0.83} \text{ (MPa)}$$

- e. [Hendry, A. W., 15] propuso otro valor para el módulo de elasticidad:

$$E_m = 2116 \sqrt{f'_m} \text{ (MPa)}$$

- f. [Amrhein, J. E., 2] propuso la siguiente ecuación empírica que tiene en cuenta el peso de la unidad de ladrillo:

$$E_m = 28.6 \rho^{1.5} \sqrt{f'_m} \text{ (MPa)}$$

El Eurocódigo 6 (8) comenta que a falta de un valor determinado mediante ensayos según la Norma EN 1052-1, el módulo de elasticidad secante instantáneo puede tomarse igual a:

$$E_m = 1000 f'_m \text{ (MPa)}$$

En ocasiones, los valores del módulo elástico obtenidos mediante las fórmulas empíricas están muy lejos de la realidad. Por ello [Tomazevic, M., 33] obtuvo para el módulo elástico, a través de ensayos experimentales, un rango de valores respecto de la resistencia de compresión.

$$200 f_m < E_m < 2000 f_m \text{ (MPa)}$$

3.1.3. – RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, f_{tk}

La resistencia a tracción, que es mucho más pequeña que la resistencia a compresión, puede ser obtenida desde diferentes técnicas experimentales. Un gran número de investigadores han propuesto que la resistencia a tracción del ladrillo puede ser evaluada directamente a través de la resistencia a compresión.

[Tomazevic, M., 33], a través de un gran número de resultados experimentales, obtiene un ratio entre la resistencia a tracción y la resistencia a compresión para cualquier tipo de obra de fábrica.

$$0.03 f_k \leq f_{tk} \leq 0.09 f_k$$

De esta manera es posible evaluar los valores de la resistencia a tracción característica si se conocen la resistencia característica a compresión de la obra de fábrica.

3.1.4. – MÓDULO DE DISTORSIÓN, G

El módulo de distorsión depende del tipo de ladrillo, la clase de mortero y el contenido de humedad de los ladrillos.

[Crisafulli, F.J., 9] propone una ecuación para cálculos aproximados, considerando el comportamiento como un material isótropo:

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + \nu_m)}$$

Poisson's ratio, ranging from 0.10 to 0.25

Por otro lado, [Alcocer, S.M. and Klinger, R.E., 1] obtuvo experimentalmente que la relación G_m/E_m puede variar desde **0.10** (para ladrillos de alta resistencia) hasta **0.30** (para ladrillos más débiles).

Según el Eurocódigo 6 (8) el módulo de distorsión puede ser considerado como el **40** % del módulo elástico.

Sin embargo, [Tomazevic, M., 33] observó que los resultados experimentales indican que los valores del módulo de distorsión son mucho más pequeños que los indicados por el Eurocódigo. Los valores del módulo de distorsión varían desde **6%** y **25%** del módulo elástico. Además comenta que también se puede expresar en términos de la resistencia a tracción, obteniendo la siguiente correlación:

$$1000f_k \leq G \leq 2700f_k$$

Estando la mayoría de los resultados cercanos a $G = 2000f_k$

3.1.5. – EL COEFICIENTE DE POISSON, ν

En general encontramos en la literatura rangos similares del coeficiente de Poisson.

De acuerdo a los valores experimentales obtenidos por [Binda, L., Fontana, A. and Frigerio, G., 6] y [Dhanasekar, M., Page, A. W. and Kleeman, P. W., 12] este parámetro puede variar entre **0,07** a **0,24**.

[Oliveira, D., 2003, 24] propone un valor de **0,15** para la fábrica de ladrillo.

3.2. – MODELIZADO DE LA OBRA DE FÁBRICA

3.2.1. – CRITERIO

El modelizado de la obra de fábrica de ladrillo tendrá en cuenta que el comportamiento del cerramiento es distinto en cada una de las direcciones perpendiculares. Analizando las características comentadas anteriormente, tomamos el tipo de elemento SHELL, lineal y ortótropo, dado que para nuestras condiciones de carga el elemento se encuentra en esa área de comportamiento.

Para el modelizado de la obra de fábrica utilizada en el modelo de ANSYS se pretende ser de carácter generalista. Puesto que se ha observado una gran dispersión entre las

formulaciones de las distintas propiedades, se establecen rangos para las propiedades y en un estudio paramétrico inicial se puede observar las diferencias que esto supone. En el Anexo II quedan recogidas las propiedades para distintos tipos de ladrillo.

Las uniones con los distintos elementos estructurales, vigas y pilares, se considerarán rígidas, dado que, aunque no se trate de fábricas confinadas, la naturaleza de las sollicitaciones impuestas (hinchamiento del paño, retracción de la estructura) hace que las tensiones de la interfase sean básicamente normales y de compresión, cosiendo la junta.

3.2.2. – RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN

Cuando la carga es aplicada en la dirección perpendicular a las juntas horizontales hemos reunido diferentes formulaciones. Comparando las distintas formulaciones comentadas seleccionamos la comentada por el Eurocódigo (8) y en consecuencia CTE_DB-SE_F (21):

$$f'_m = K f_{cb}^{0.65} f_j^{0.25} \text{ (MPa)}$$

K una constante dependiendo del tipo de fábrica

Para el caso de la carga aplicada paralela a las juntas horizontales el límite mínimo lo proporciona [Samarasinghe, W. and Hendry, A. W., 29] y el límite máximo lo determina [Hoffmann, G and Schubert, P, 16], por lo que finalmente la resistencia tiene el rango:

$$0.15f'_m \leq f_{k'} \leq 0.8f'_m$$

3.2.3. – MÓDULO DE ELASTICIDAD, E

Tanto el límite menor como el límite mayor son los valores proporcionados por [Tomazevic, M., 33]. Aplicaremos este rango para todas las direcciones.

Los resultados de las propiedades mecánicas para los dos tipos de ladrillos analizados son los siguientes:

$$200f'_m < E_m < 2000f'_m \text{ (MPa)}$$

3.2.4. – MÓDULO DE DISTORSIÓN, G

El valor mínimo para el módulo de distorsión es el **6 %** del módulo elástico obtenido por [Tomazevic, M., 33].

Por otro lado, el valor máximo del rango es el que comenta el Eurocódigo 6 (8), que es el **40 %** del módulo elástico.

Por lo que el rango del módulo de distorsión queda en función de la resistencia a compresión como:

$$12f'_m < G < 800f'_m \text{ (MPa)}$$

3.2.5. – EL COEFICIENTE DE POISSON, ν

Para el modelo será aplicado el rango proporcionado por [Binda, L., Fontana, A. and Frigerio, G., 6] y [Dhanasekar, M., Page, A. W. and Kleeman, P. W., 12]:

$$0.07 < \nu < 0.24$$

3.2.6. – VALORES DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS MÁS HABITUALES

Aunque la dispersión es muy importante, en la bibliografía estudiada se pueden encontrar referencias hacia los valores más habituales de los parámetros.

1. *Módulo de elasticidad*

El valor más habitual comentado por varios autores es el proporcionado por el Eurocódigo 6(8) y el Código técnico de la Edificación (21)

$$E_m = 1000f'_m$$

2. *Módulo de distorsión*

[Tomazevic, M., 33] comenta que la mayoría de los resultados experimentales realizados toman un valor cercano a $2000f'_m$, tomando también el valor medio del rango proporcionado para la resistencia a tracción obtenemos:

$$G_m = 120f'_m$$

3. *Coefficiente de Poisson*

La mayoría de los estudios mediante modelos de fábrica de ladrillo toman un valor próximo al proporcionado por [Oliveira, D., 24]:

$$\nu_m = 0.15$$

CAPÍTULO 4

EFECTOS SOBRE LA ESTRUCTURA

En este apartado se realizará un modelo de elementos finitos para analizar ciertos aspectos que afectan a las construcciones. En primer lugar se analizará la historia de cargas, que es el primer fenómeno que sucede, pero sin embargo con el paso de los años empiezan a cobrar mucha importancia fenómenos como la expansión por humedad y la retracción del hormigón. También se analizará el efecto de la dilatación por temperatura aunque este efecto es cíclico.

4.1. – MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

El modelo inicial (Figura 15) consiste en un pórtico sencillo de 5 pilares y 3 vigas, de distancia entre apoyos 3 metros y de altura 2,5 metros. Las medidas están basadas en las distancias del edificio posteriormente analizado de la Barriada de San Fernando, para de esta manera poder sacar conclusiones conjuntas.

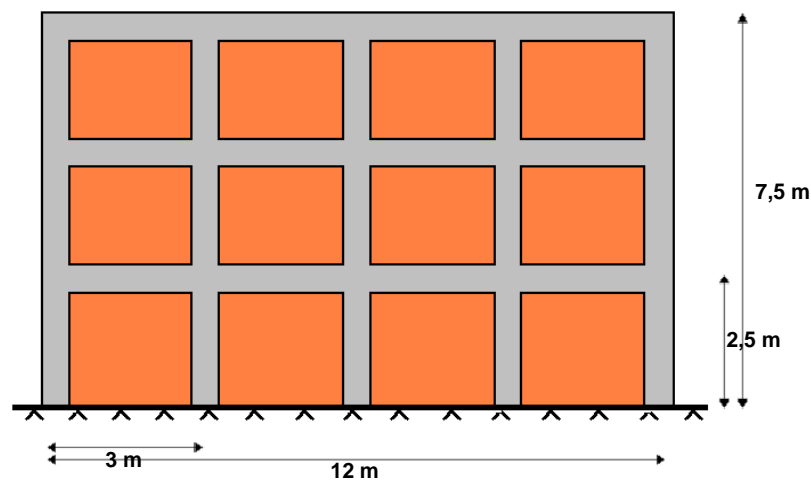


Figura 15. Modelo de pórticos analizado

Los cerramientos seleccionados del modelo simple de partida son de ladrillo perforado y mortero M7.5, cuyas características se encuentran recogidas en el Anexo II, puesto que es el ladrillo más común utilizado para este tipo de construcciones.

Para la realización de las comprobaciones de los efectos se han utilizado los valores medios del muro de ladrillo comentado. La carga soportada por los cerramientos varía dependiendo de la rigidez de éstos. En la Figura 16 se puede observar esa variación:

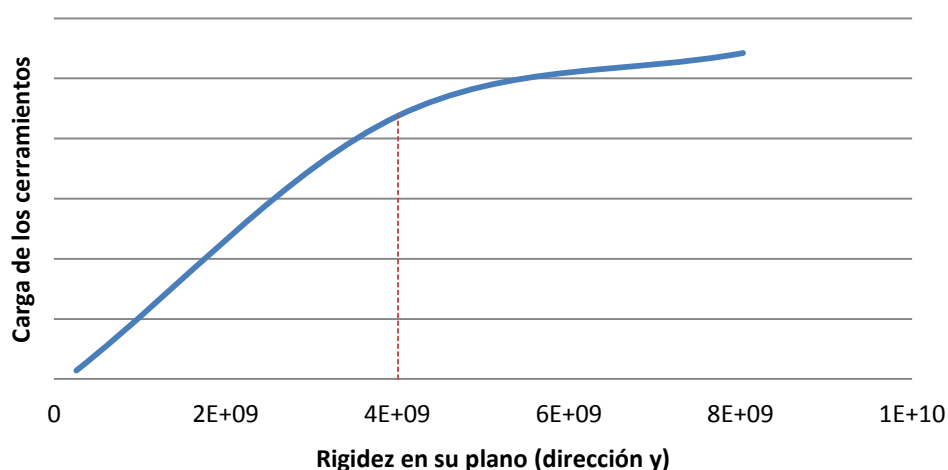


Figura 16. Carga de los cerramientos en función de la rigidez de la obra de fábrica

Se puede observar a simple vista como conforme aumenta la rigidez del cerramiento, la cantidad de carga respecto a la carga total que soportan éstos aumenta. Es decir, que construir cerramientos muy rígidos puede provocar la descarga casi total de los pilares, debido a que no son capaces de absorber la flexión de las vigas deformándose.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es como afecta la distancia entre pilares, puesto que hoy en día es habitual encontrar luces de 6 metros o mayores. En la Figura 17 se muestra la variación de carga en función de la longitud de luces:

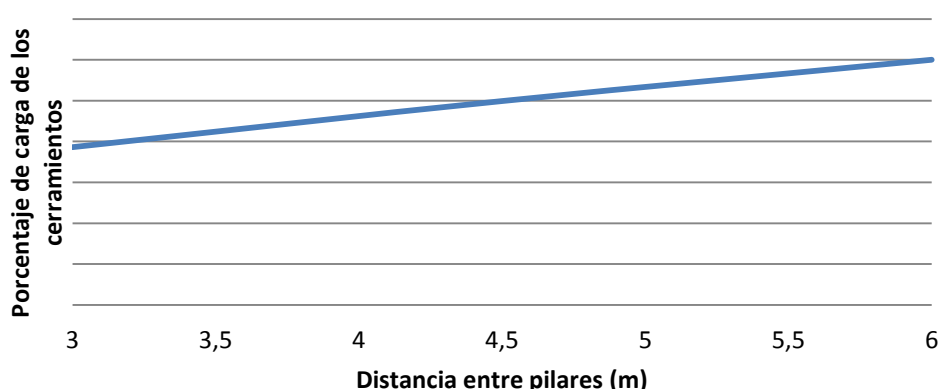


Figura 17. Porcentaje inicial de cargas que descienden por los cerramientos de la carga total

El porcentaje de cargas absorbido por los cerramientos aumenta con la distancia entre pilares debido a que para vigas de la misma sección la flexión que sufren es mayor y el recorrido hasta los pilares también.

4.2. – HISTORIA DE CARGAS

La carga que reciben los cerramientos depende del proceso constructivo. Por ello en este apartado se han elaborado 3 modelos de historia de cargas en función de la carga que se ha estabilizado con la estructura antes de construir los cerramientos.

4.2.1. – CARACTERIZACIÓN DE LA HISTORIA DE CARGAS

Para cada uno de los 3 modelos comentados se realizan 2 sub-modelos diferentes. El primero consiste únicamente en la estructura sin cerramientos al que se le aplica un porcentaje del peso propio de la estructura y forjados, mientras que el segundo modelo consiste en la estructura y los cerramientos con las cargas restantes del peso propio de estructura y forjados, el peso propio de los cerramientos y las sobrecargas de uso cuasipermanentes.

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes asignados del peso propio de estructura y forjados en los tres modelos, los valores de las cargas se encuentran recogidos en el Anexo I:

| PORCENTAJE DE CARGAS INTRODUCIDAS | | |
|-----------------------------------|------------|---------------------------|
| MODELO | ESTRUCTURA | ESTRUCTURA Y CERRAMIENTOS |
| PRIMER MODELO | 75 % | 25 % |
| SEGUNDO MODELO | 50 % | 50 % |
| TERCER MODELO | 25 % | 75 % |

Tabla 1. Porcentaje de cargas estáticas gravitatorias introducidas en cada uno de los modelos

4.2.2. – RESULTADOS DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Para observar el efecto sobre la construcción y obtener la distribución de cargas que este fenómeno provoca se modeliza en ANSYS los dos modelos de pórtico comentados anteriormente. Los tres modelos están recogidos en el Anexo I, a continuación se muestran los resultados para el segundo modelo.

1. Estructura de hormigón

Las cargas de peso propio de la estructura, los forjados y la cubierta introducen en la estructura de hormigón los siguientes axiles de compresión y desplazamientos:

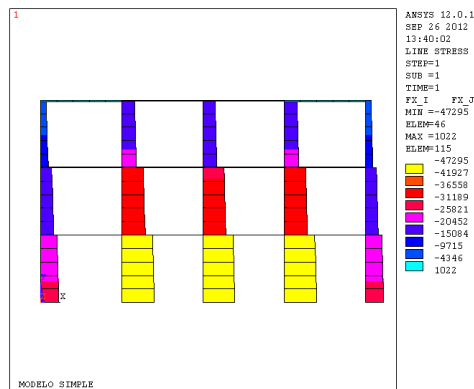


Figura 18. Axiles en la estructura sin cerramientos de la historia de cargas

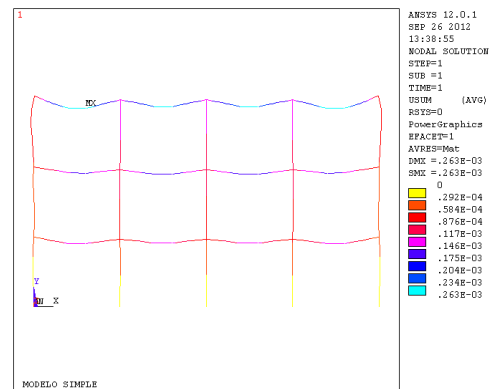


Figura 19. Desplazamientos en la estructura sin cerramientos de la historia de cargas

Se producen unos desplazamientos en las vigas debidos a las cargas introducidas. Estas flechas serán soportadas únicamente por la estructura puesto que al construir el cerramiento ya se han desarrollado.

2. Estructura de hormigón y cerramientos

A partir de este momento se introducen los cerramientos en la estructura de tal manera que todas las cargas restantes, incluidas las sobrecargas cuasipermanentes, actuarán sobre la construcción conjunta originando un reparto de cargas entre estructura y cerramientos.

En las siguientes imágenes se puede observar los axiles en los pilares de hormigón y la tensión de Von Mises debidos a este estado de cargas:

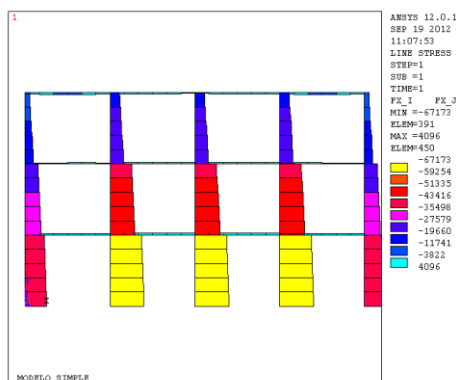


Figura 20. Axiles en la estructura con cerramientos de la historia de cargas

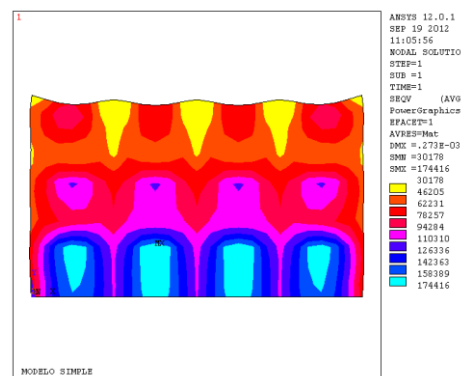


Figura 21. Tensión de Von Mises en la estructura con cerramientos de la historia de cargas

El apoyo de las vigas sobre la obra de fábrica provoca que no toda la carga descienda por los pilares y que parte lo haga por los cerramientos. La siguiente tabla muestra el porcentaje de carga que desciende por los pilares y por los cerramientos:

| PORCENTAJE DE CARGAS RESULTANTE PARA EL SEGUNDO MODELO | |
|--|----------------------|
| PARTES | PORCENTAJE DE CARGAS |
| PILARES | 80,24 % |
| CERRAMIENTOS | 19,75 % |

Tabla 2. Distribución de cargas porcentual debida a la historia de cargas del segundo modelo

Una quinta parte de las cargas introducidas descienden directamente por los cerramientos, sin haber actuado todavía los demás efectos.

4.3. – EXPANSIÓN POR HUMEDAD

La expansión por humedad es un fenómeno propio de los materiales cerámicos, que produce una expansión del material, cuya magnitud es variable y depende de una serie de factores, entre los cuales están la composición de las arcillas utilizadas, su procedimiento de fabricación, la temperatura y ciclo de cocción, o la exposición a la humedad ambiente del producto terminado.

El conocimiento de este fenómeno y su posible predicción es de suma importancia cuando se considera el uso de materiales cerámicos. Una variación dimensional anómala puede producir patologías graves en elementos de cerramiento, originando una entrada en carga que se traduce en empujes sobre otros elementos de la construcción, colapso de juntas de dilatación en el caso de existir o roturas por pandeo de muros y tabiques.

En muchos casos su predicción es difícil. Cuando se produce una patología derivada de este fenómeno su identificación es complicada, ya que existen numerosas causas de movimiento en los materiales que se pueden manifestar conjuntamente. Por otro lado, aunque actualmente se empieza a tener conciencia de ello, el fenómeno es poco conocido debido a la falta de investigación básica en nuestro país sobre el tema, a que el fenómeno ha sido considerado ocasional y superficialmente por el propio sector, a que dicho problema no se trata en las Escuelas técnicas.

La mayoría de los resultados obtenidos por distintos investigadores en ensayos relacionados sobre cerámicas muestran que existen dos fases en el proceso de expansión. En la primera, más rápida, se producen los mayores crecimientos, y es en la que se desactivan los mecanismos de hidratación (10), produciéndose una ralentización del proceso. La segunda, más lenta, es producida por el intercambio de iones [Smith, 31]. El proceso global sigue una

tendencia logarítmica que dura aproximadamente de 5 a 8 años, alrededor de la cual se producen las oscilaciones provocadas por las condiciones ambientales,

Ambas fases son las responsables del valor total de expansión de la cerámica. Sin embargo, la primera fase o parte de ella se produce antes de que la colocación de la cerámica en la obra, por lo que el ceramista o el director de obra tiene mayor control sobre el proceso.

4.3.1. – RECOMENDACIONES DE LA CONSTRUCCIÓN

Para evitar patologías debidas a la expansión por la humedad el CTE-SE-F (21), Gómez López, E. (14) y diversos autores proponen reglas para la ejecución de los muros de fábrica, aunque en la realidad muchas de ellas no se ejecutan.

1. No utilizar ladrillos que hayan sido cocidos en fechas muy recientes (menos de una semana), para evitar que la expansión inicial de rápido crecimiento se produzca una vez construido el muro.
2. Humedecer los ladrillos 24 horas antes de su colocación. Evitando así los picos de las oscilaciones por las condiciones ambientales.
3. Dejar una junta horizontal en la unión del tabique con el forjado superior, que podrá ser rellenada al final de la obra.
4. Tomar medidas protectoras para las fábricas que puedan ser dañadas por efecto de la humedad en contacto con el terreno. Se aplicarán las prescripciones indicadas en la sección correspondiente del DB-HS.

4.3.2. – CARACTERIZACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA FÁBRICA FRENTE A LA HUMEDAD

Para el estudio realizado en este proyecto nos interesa especialmente el valor de expansión vertical, pues es el que va a modificar el axil de los pilares y el reparto de cargas entre el muro y éstos.

Podemos considerar que la expansión de un cuerpo cerámico como un ladrillo o una bovedilla es predecible, con la lógica desviación que se produce en los procesos experimentales. Sin embargo, en un material compuesto y anisótropo como es la fábrica de ladrillo no cabe esperar que las expansiones que se puedan producir tengan la misma magnitud que las que experimenta el ladrillo que se usa para su construcción, existiendo una disminución en el valor de la expansión de los muros frente al de las cerámicas que lo componen.

La fábrica experimenta evidentemente crecimientos en las dos direcciones principales que definen su plano, la horizontal y la vertical. Ambos pueden ser diferentes debido a la disposición del aparejo, aún asumiendo que la expansión en las piezas toma el mismo valor longitudinal y transversalmente. La dirección vertical da movimientos heterogéneos entre distintas fábricas, que resultan de la suma de los de cada una de las capas de ladrillo y mortero, dispuestas en hiladas sucesivas; en este caso, el movimiento de la fábrica es muy sensible, tanto al crecimiento de las piezas como a la retracción o expansión que experimenten los morteros. La dirección horizontal da movimientos más homogéneos que dependen del comportamiento conjunto de ambos materiales, ya que las piezas se encuentran solapadas.

Del trabajo de Thomas (32) se desprende que los morteros tienen una cierta capacidad de acomodarse al crecimiento de los ladrillos mientras maduran, de forma que la relación entre la expansión de ladrillos y fábricas dependería de la forma de crecimiento de las piezas, del tiempo de fraguado y tipo de los morteros. De este comportamiento se puede deducir que la expansión de un muro de ladrillo será menor en dirección vertical que en la horizontal, debido a la proporción ladrillo-mortero.

La expansión de la fábrica de ladrillo en vertical, a causa de su mayor complejidad, ha sido menos estudiada a través de ensayos que la horizontal, por lo que no es posible dar un valor exacto para ella. Así pues, se ha realizado un estudio paramétrico dentro de un rango de valores teniendo en cuenta los resultados de distintos autores y la proporción ladrillo-mortero en esta dirección.

En la tesis de De Isidro Gordejuela F (10) se recoge un amplio estudio acerca de la expansión del ladrillo cerámico y de los muros de ladrillo. El estudio está realizado para ladrillos perforados y cara vista de formato métrico y catalán. Aunque el estudio está realizado para la dirección horizontal, en él se puede observar (Figura 22) la tendencia de crecimiento y estabilización de éstos frente a la de los ladrillo como unidad cerámica.

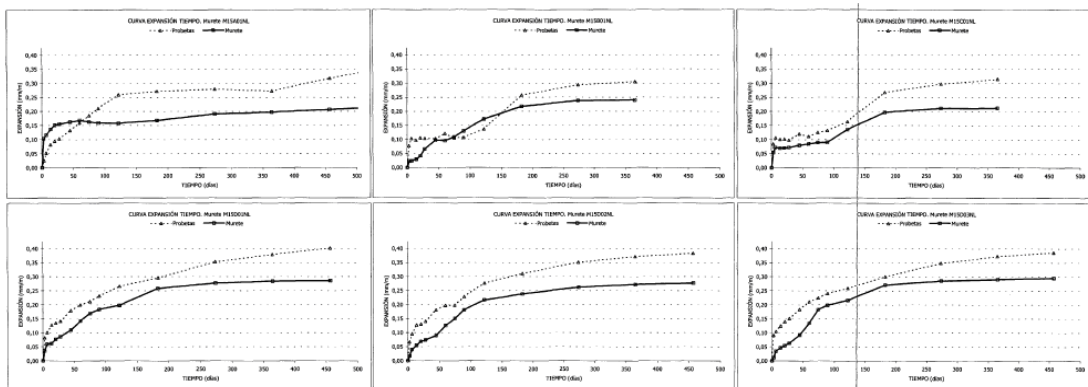


Figura 22. Curva expansión-tiempo en probetas

La imagen muestra que la expansión por humedad de los muros es inferior a la de los ladrillos individualmente, y que tiende a estabilizarse en un periodo inferior al año. Para los muros de ladrillo analizados se obtuvo que ninguno de ellos supera los 0,3 mm/m para la dirección horizontal, por lo que la expansión vertical según la proporción ladrillo-mortero se estima entre 0,1-0,2 mm/m.

Los trabajos de Fisher (13) en 1983 se encaminaron a determinar el movimiento de la fábrica. Empleó material cerámico de 14 días de edad en muretes de 4,1 m de largo y 1,3 m de altura, y tomó medidas en varios puntos del muro (a diferentes alturas y longitudes). Finalmente, el autor da un valor de expansión previsible en fábricas inferior a 0,2 mm/m. Valor también proporcionado por Gómez López, E. (14) en su tesis.

Encontramos valores de expansión del muro de ladrillo mayores en otros estudios y artículos. En el año 1966 Beard et al. (4) realizan una de las primeras campañas de ensayos sobre expansión en muros que concluye 21 años después (5) en la que deja intuir la gran dependencia que los movimientos verticales de los muros tienen del mortero utilizado. Después de 21 años, el valor medio de expansión vertical en muros expuestos a la intemperie (muros de ladrillo con mortero de cemento Pórtland) llega a 1 mm/m.

Entre varios artículos de arquitectos e ingenieros de nuestro país, Salvador Pérez Arroyo habla sobre la problemática de la fábrica de ladrillo. El autor comenta estudios realizados por HYSALYT donde se habla de 0,8 mm/m, aunque comenta que su experiencia es mucho más alarmante encontrando dilataciones diferidas en fábricas de medio pie de más de 2 mm/m.

Para tener en cuenta los valores de expansión por humedad comentados se introducen 6 modelos con los siguientes valores:

| VALORES DE EXPANSIÓN POR HUMEDAD (MM/M) |
|---|
| 0,1 mm/m |
| 0,2 mm/m |
| 0,3 mm/m |
| 0,5 mm/m |
| 1 mm/m |
| 2 mm/m |

Tabla 3. Valores de la expansión por humedad de la fábrica analizados

4.3.3. – RESULTADOS DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Para observar el efecto que provoca la expansión por humedad sobre los muros de fábrica y sobre las nuevas distribuciones de carga debida a estos movimientos se modeliza en ANSYS el modelo simple de pórticos inicial únicamente con la dilatación potencial.

Debido a la gran dispersión de los valores de expansión de los muros causada por el carácter heterogéneo de éstos, se realizó un estudio paramétrico. A continuación se muestra el comportamiento y los axiles que introduce en la estructura un valor de la expansión por humedad de 0,2 mm/m, estando recogidos todos los análisis en el Anexo I.

La fábrica sufre un hinchamiento debido a la humedad, esta expansión provoca la aparición de esfuerzos de tracción en los pilares. En la Figura 23 se muestran los resultados del axil en la estructura.

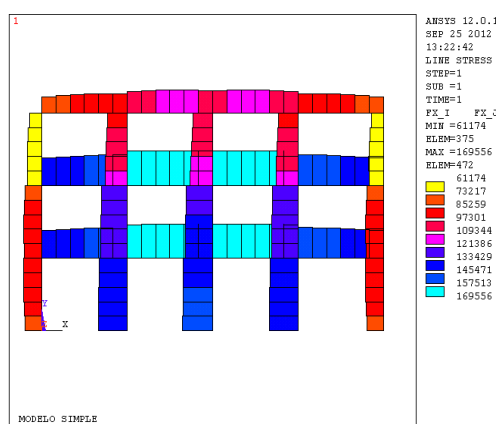


Figura 23. Axil en la estructura debido a la expansión por humedad de la fábrica

Los esfuerzos de tracción que aparecen en los pilares provocarán una descarga parcial de los pilares.

Debido a la expansión del paño de fábrica los desplazamientos también se verán modificados. A continuación se muestran los desplazamientos en la estructura de hormigón y la trayectoria vectorial que sigue la estructura con cerramientos.

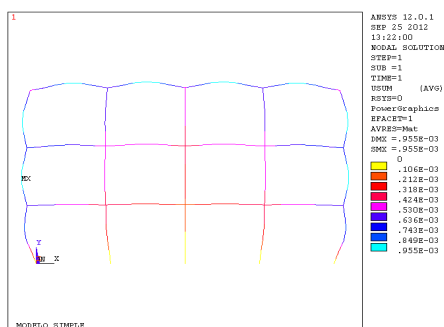


Figura 24. Desplazamientos de la estructura debidos a la expansión por humedad de la fábrica

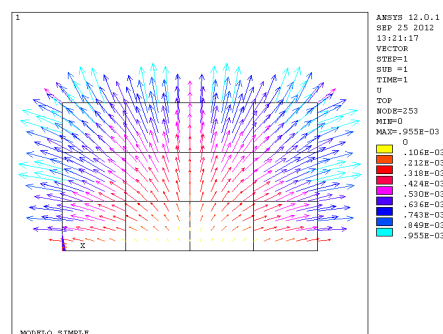


Figura 25. Desplazamientos vectoriales debidos a la expansión por humedad de la fábrica

Los máximos desplazamientos aparecen en los elementos exteriores, puesto que la fábrica se puede expandir con mayor libertad debido a que las restricciones son menores.

El fenómeno es similar para los valores tomados de expansión por humedad, variando la magnitud de éste.

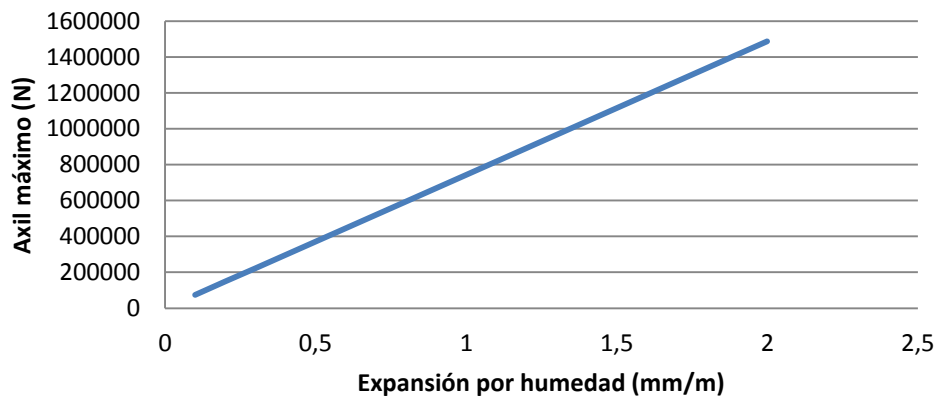


Figura 26. Axil máximo de la estructura respecto a la expansión por humedad de la fábrica de ladrillo

4.4. – RETRACCIÓN DEL HORMIGÓN

Es bien conocido que el hormigón sufre cambios de volumen posteriores al fraguado, comprende la llamada Retracción Hidráulica.

La retracción hidráulica es consecuencia del secado de la película de agua que rodea las partículas de gel en la pasta de cemento. Existe en casi todos los hormigones una cantidad excedente de agua que rellena (o más bien produce) los poros de la pasta; su misión es mejorar la trabajabilidad del hormigón.

4.4.1. – CARACTERIZACIÓN DE LA RETRACCIÓN DEL HORMIGÓN

Para la evaluación del valor de la retracción, han de tenerse en cuenta las diversas variables que influyen en el fenómeno, en especial: el grado de humedad ambiente, el espesor o menor dimensión de la pieza, la composición del hormigón y el tiempo transcurrido desde la ejecución, que marca la duración del fenómeno.

Para el caso que se trata se tomarán condiciones medias de la retracción a plazo infinito del hormigón:

Para hormigón en masa: $0,35 \times 10^{-3} < \epsilon_0 < 0,40 \times 10^{-3}$

Para hormigón armado: $\epsilon_0 = 0,25 \times 10^{-3}$

Hay que tener en cuenta que transcurre un tiempo entre que la estructura de hormigón y los cerramientos son construidos, por lo que parte de esta retracción se produce con anterioridad a la colocación de éstos. A partir de la formulación proporcionada por la EHE-08 se obtiene la evolución con el tiempo.

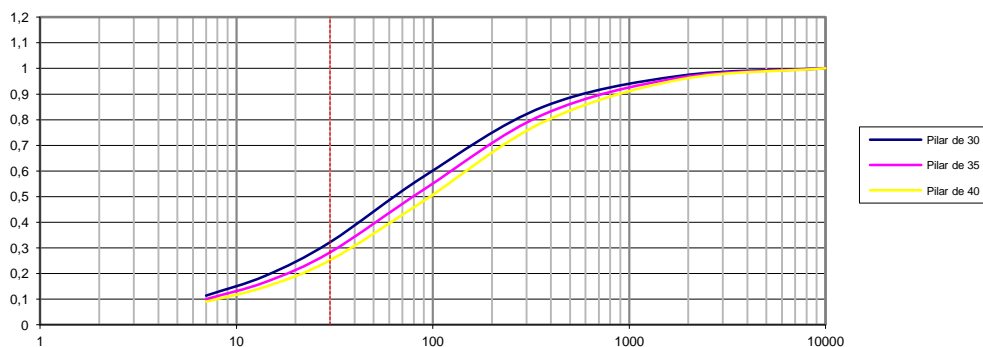


Figura 27. Evolución de la retracción del hormigón con el tiempo

4.4.2. – RESULTADOS DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Para observar el efecto que provoca la retracción del hormigón sobre los muros de fábrica y sobre las nuevas distribuciones de carga debida a estos movimientos se modeliza en ANSYS el modelo simple de pórticos inicial introduciendo únicamente la retracción del hormigón armado.

El modelo mostrado a continuación muestra el resultado de la retracción en los pilares de hormigón armado teniendo en cuenta que han pasado 30 días entre la construcción de éstos y la de los cerramientos.

El acortamiento de los pilares y vigas provoca en éstos unos esfuerzos de tracción debido a que los cerramientos les impiden el movimiento. En la siguiente imagen se muestran los resultados del axil de la estructura.

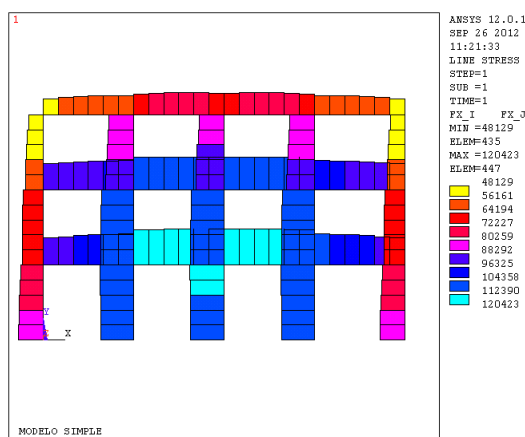


Figura 28. Axiles en la estructura debidos a la retracción del hormigón

Debido a la retracción de los pilares los desplazamientos también se verán modificados. A continuación se muestran los desplazamientos en la estructura de hormigón y la trayectoria vectorial que sigue la estructura con cerramientos.

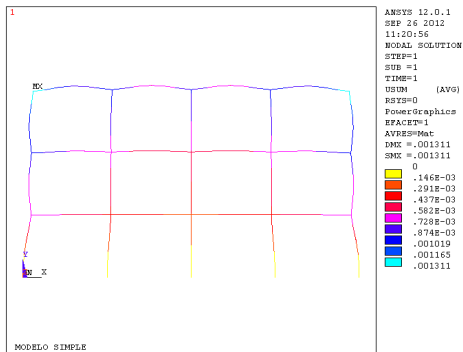


Figura 29. Desplazamientos de la estructura debidos a la retracción del hormigón

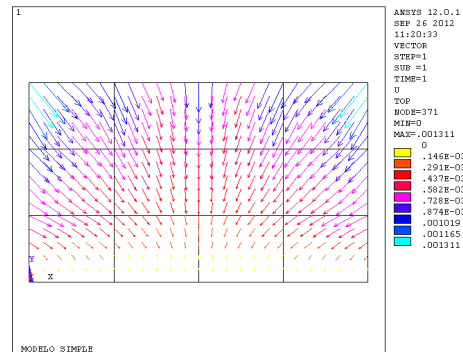


Figura 30. Desplazamientos vectoriales debidos a la retracción del hormigón

Se puede observar que toda la construcción se contrae debida a la retracción de la estructura.

4.5. – DILATACIÓN POR TEMPERATURA

A diferencia de la expansión por humedad de la fábrica y la retracción del hormigón, cuyos efectos aumentan progresivamente con el paso del tiempo, el efecto de la temperatura depende directamente de las condiciones ambientales. Los materiales llegan a alcanzar temperaturas muy elevadas por la acción directa del sol, como se puede observar en la Figura 31:



Figura 31. Temperatura en las fachadas

Dependiendo del método constructivo utilizado los gradientes de temperatura entre la obra de fábrica y los pilares de hormigón varían. El tipo de cerramiento más común utilizado en la construcción actual se muestra en la Figura 32:



Figura 32. Edificio de ladrillo cara-vista

Consiste en un cerramiento de ladrillo cara-vista apoyado sobre los forjados y envolviendo la estructura. En esta situación, los cerramientos de obra de fábrica que soportan la carga protegen al hormigón de la temperatura, apareciendo entre ellos diferencias.

4.5.1. – CARACTERIZACIÓN DE LA DILATACIÓN POR TEMPERATURA

Para la evaluación del efecto que tiene la temperatura sobre el pórtico analizado se utilizan los valores de dilatación por temperatura proporcionados por el CTE SE-F (21) y por el EHE 08 (22). De tal manera que los valores utilizados son:

| COEFICIENTES DE DILATACIÓN SEGÚN LA NORMATIVA | |
|---|--------------------|
| PARTES | COEFICIENTE |
| HORMIGÓN | 1×10^{-5} |
| CERRAMIENTOS CERÁMICOS | 6×10^{-6} |

Tabla 4. Valores de los coeficientes de dilatación por temperatura de los materiales

Para el caso comentado en el apartado anterior, ladrillo cara-vista, se realizan 3 modelos con las siguientes cargas térmicas:

| CARGAS TÉRMICAS DEL PRIMER MÉTODO CONSTRUCTIVO | | |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
| MODELO | INCREMENTO TEMPERATURA ESTRUCTURA | INCREMENTO TEMPERATURA CERRAMIENTOS |
| PRIMER MODELO | 10 °C | 30 °C |
| SEGUNDO MODELO | 15 °C | 40 °C |
| TERCER MODELO | 20 °C | 50 °C |

Tabla 5. Cargas térmicas introducidas en cada uno de los modelos

4.5.2. – RESULTADOS DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Para observar el efecto que provoca la dilatación por temperatura sobre los muros de fábrica y sobre las nuevas distribuciones de carga debida a estos movimientos se modeliza en ANSYS el modelo de pórticos inicial introduciendo únicamente la dilatación de los pilares y de los cerramientos.

En esta sección se comentarán los resultados del segundo modelo, cuyos valores se encuentran recogidos en la Tabla 5, aunque los otros dos modelos presentan un comportamiento similar modificando su magnitud.

La mayor dilatación que sufre la obra de fábrica debido al incremento superior de temperatura origina en los pilares unos esfuerzos de tracción. En la siguiente imagen se muestran los resultados del axil de la estructura.

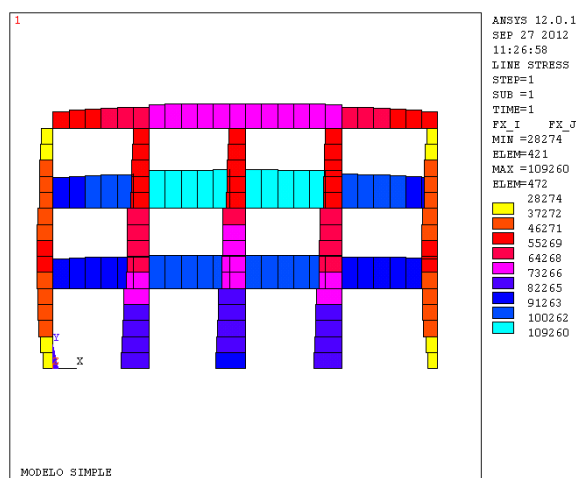


Figura 33. Axiles de la estructura debidos a la dilatación por temperatura

Debido a la dilatación por temperatura toda la estructura se hincha y se producen los siguientes desplazamientos.

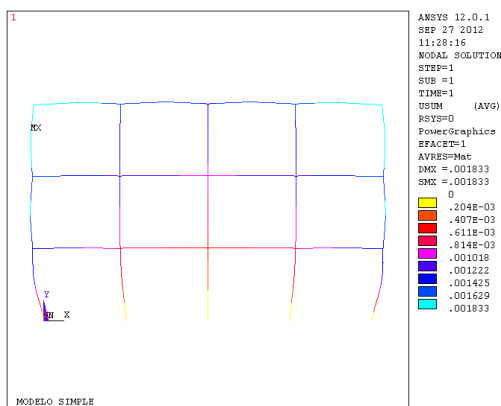


Figura 34. Desplazamientos de la estructura debidos a la dilatación por temperatura

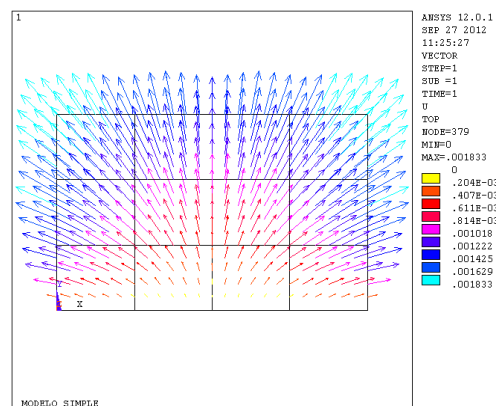


Figura 35. Desplazamientos vectoriales debidos a la dilatación por temperatura

Como los incrementos de temperatura son distintos se puede observar que el hinchamiento que sufre la fábrica provoca cierta flexión en las vigas y los pilares.

4.6. – COMBINACIÓN DE FACTORES

Una vez conocidos los efectos que actúan sobre la estructura y los comportamientos que en ella producen, se realiza la combinación de éstos. Debido a que se han realizado varios modelos de cada uno de los efectos, no existe una única combinación de los factores.

Por ello se han elaborado 3 casos de combinaciones, cuyos cálculos se encuentran recogidos en el **Anexo**. Los tres casos de combinaciones de cargas están clasificados en función de su probabilidad de ocurrencia. El primer modelo de combinaciones contempla los valores más favorables de los efectos mencionados, de tal manera que en la mayoría de las situaciones reales sucede, como mínimo, esta situación. En el segundo caso de combinaciones, se toman los valores medios de los efectos comentados, existiendo una probabilidad de ocurrencia de aproximadamente el 50 %. El último modelo de combinaciones contempla el caso extremo, el que no sucede en casi ninguna situación pero puede llegar a ocurrir.

4.6.1. – CARACTERIZACIÓN DE LAS COMBINACIONES DE CARGAS

Para el cálculo de las combinaciones de cargas se utiliza el programa EXCEL. Dada la linealidad de los efectos considerados, se sumarán los resultados de los efectos anteriormente analizados.

Las combinaciones de cargas calculadas se pueden observar con detenimiento en el Anexo I. En la Tabla 6 se muestran las combinaciones tomadas de mayor a menor probabilidad:

| COMBINACIONES DE CARGA | | | | |
|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| SITUACIONES | HISTORIA DE CARGAS | EXPANSIÓN POR HUMEDAD | RETRACCIÓN DEL HORMIGÓN | INCREMENTO DE TEMPERATURA |
| PRIMERA COMBINACIÓN | 75% ESTR.-25 % CERR. | 0,1 MM/M | 0,175 MM/M | 10°C ESTR.-30°C CERR. |
| SEGUNDA COMBINACIÓN | 50% ESTR.-50 % CERR. | 0,2 MM/M | 0,175 MM/M | 15°C ESTR.-40°C CERR. |
| TERCERA COMBINACIÓN | 25% ESTR.-75 % CERR. | 0,3 MM/M | 0,175 MM/M | 20°C ESTR.-50°C CERR. |

Tabla 6. Especificaciones de las combinaciones de cargas realizadas

4.6.2. – RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LAS COMBINACIONES DE CARGAS

De las situaciones calculadas en este apartado se comenta únicamente la primera de ellas, debido a que su representatividad es suficiente para mostrar el resultado de las otras dos.

Como resultado de los importantes efectos de la humedad, la retracción y la temperatura, los axiles totales de los pilares del pórtico parecen experimentar unos esfuerzos de tracción. La Figura 36 muestra los resultados de los axiles:

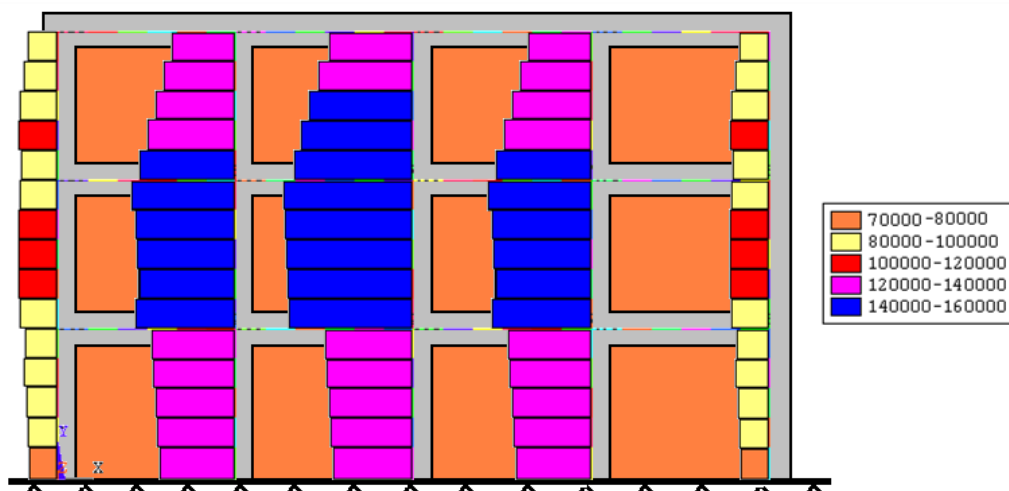


Figura 36. Axiles en los pilares debidos a la combinación de los efectos

Estos resultados son sorprendentes, y su efecto podría ser aún mayor si consideramos alguna de las otras dos combinaciones de cargas.

Al contrario de lo que generalmente se presupone y calcula, que es que las cargas descienden por la estructura, observamos que no parece ser así. Los cerramientos debidos a las contracciones y dilataciones, con el paso de los años acaban absorbiendo toda la carga y provocando unos esfuerzos en los pilares, lo cual genera una gran incertidumbre en cuanto al comportamiento de la edificación.

En los capítulos 6 y 7 de este proyecto se analiza la problemática ocasionada por la situación observada en los resultados y algunas soluciones constructivas que se adoptan en otros países o que se proponen para solucionar los problemas generados en las construcciones de obra de fábrica.

CAPÍTULO 5

EDIFICIO DE LA BARRIADA DE SAN FERNANDO, LORCA

Para completar el análisis sobre la importancia de los elementos no estructurales analizamos un edificio de la ciudad de Lorca, con el objeto de obtener no sólo la influencia de los cerramientos de fachada sino también de la tabiquería interior.

5.1. – DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El inmueble fue construido en el año 1975, como parte de un conjunto de edificios llamado la Barriada de San Fernando. Se trata de un edificio con cerramientos y tabiquería de ladrillos, de altura media que consta de cuatro plantas de viviendas y una planta baja diáfana con acceso al exterior a través de la escalera.



Figura 37. Edificio de la Barriada de San Fernando

La estructura está constituida por pórticos de hormigón armado y vigas de canto, sobre los que se apoyan los forjados unidireccionales. Los forjados están formados por viguetas

prefabricadas y bovedillas de hormigón como aligeramiento, sin capa de compresión. Las características se recogen en los planos del Anexo III.

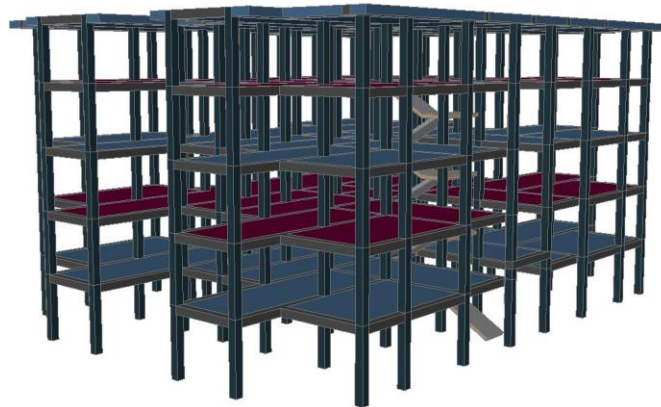


Figura 38. Imagen virtual del Edificio de la Barriada de San Fernando

La distribución de las distintas plantas del edificio es similar en las cuatro plantas, constando de cuatro viviendas en cada una de ellas. La tabiquería interior de las viviendas está construida mediante ladrillo hueco doble y las particiones entre viviendas y los cerramientos mediante ladrillo hueco triple.

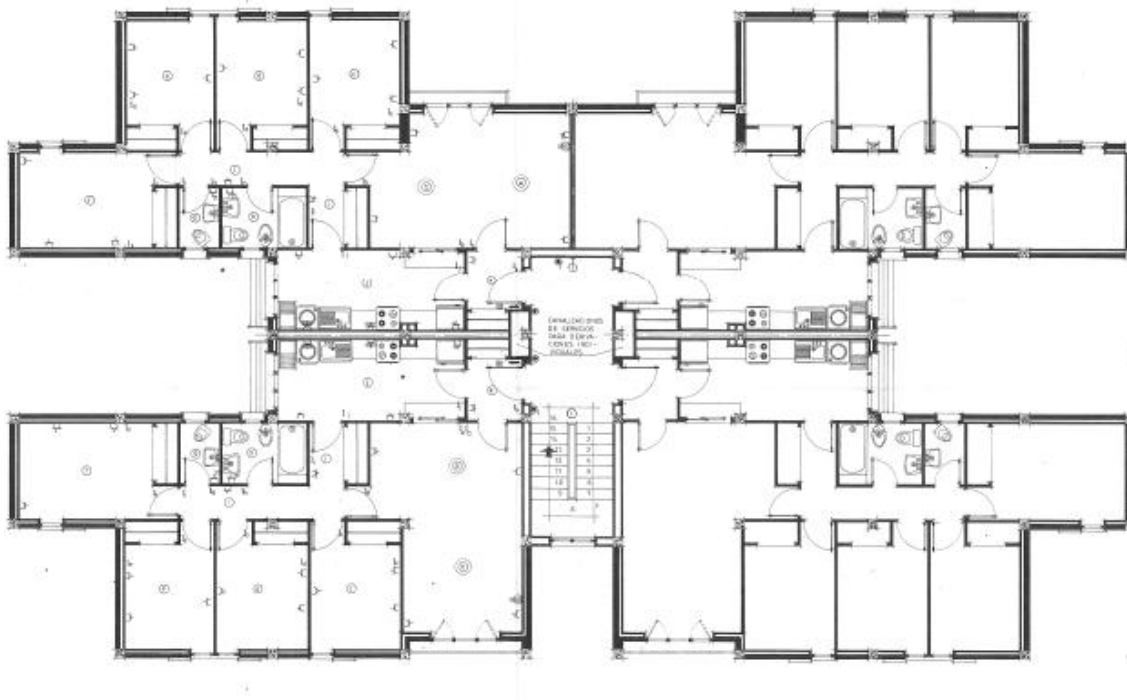


Figura 39. Distribución en planta del edificio

5.2. – MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Mediante el programa ANSYS se han realizado 3 modelos del edificio de San Fernando. El primer modelo contiene únicamente la estructura del edificio, el segundo modelo incluye los cerramientos de fachada y por último, en el tercer modelo, ha sido añadida la tabiquería interior. A través de ellos se pretende obtener el reparto de cargas existente entre estructura, tabiquería y cerramientos, así como el resultado de los efectos comentados en la sección 4.

Las características de los cerramientos y de la tabiquería están basadas en el proyecto de construcción y las fotografías tomadas del edificio. Las fichas técnicas de los ladrillos y los cálculos se encuentran recogidos en el Anexo II.

Los forjados unidireccionales han sido modelizados como sucesivos elementos viga de rigidez y densidad equivalente a la del forjado proyectado.

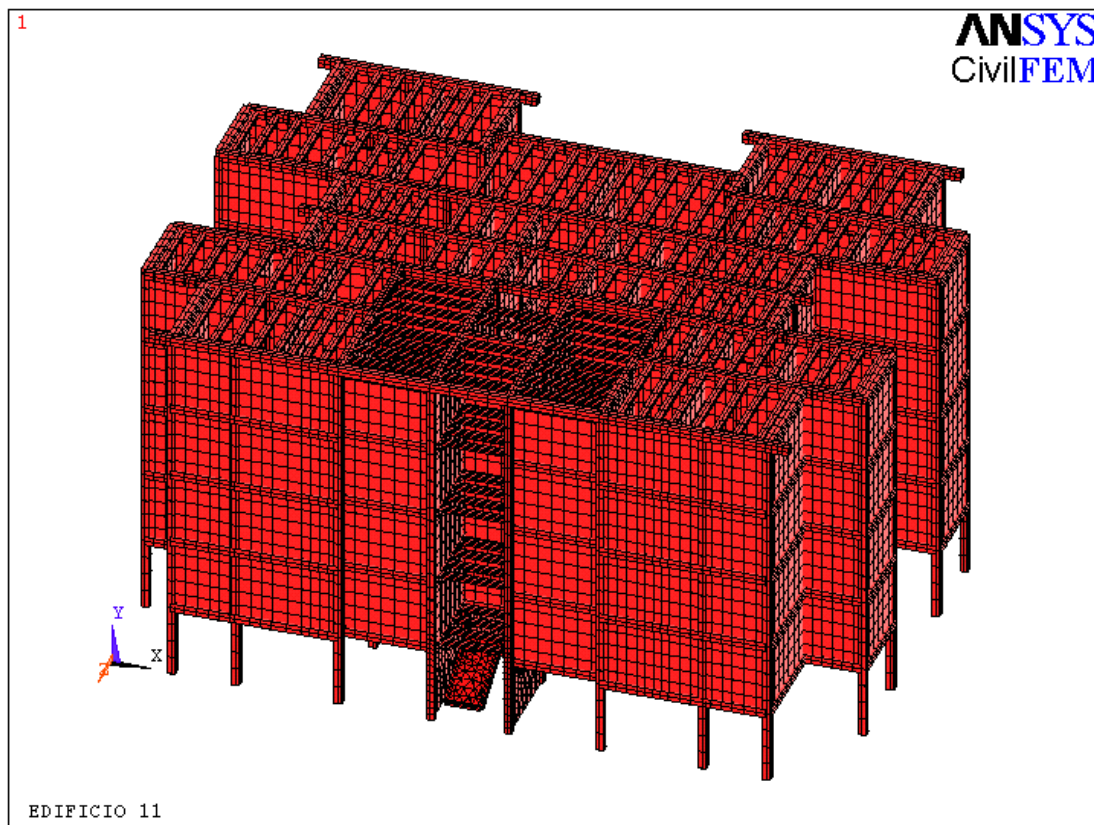


Figura 40. Modelo 3D en ANSYS del edificio

La mayoría de las cargas han sido introducidas mediante la densidad de los elementos. Los valores usados de densidad y el resto de cargas se pueden encontrar en el Anexo I.

5.3. – RESULTADOS

5.3.1. – DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS

Para conocer los resultados se obtienen los esfuerzos en los pilares para los tres modelos desarrollados. Como la planta baja no tiene cerramientos, exceptuando la caja de las escaleras, finalmente todas las cargas descenden por los pilares, pero en las plantas superiores se puede analizar el efecto de la fábrica de ladrillo.

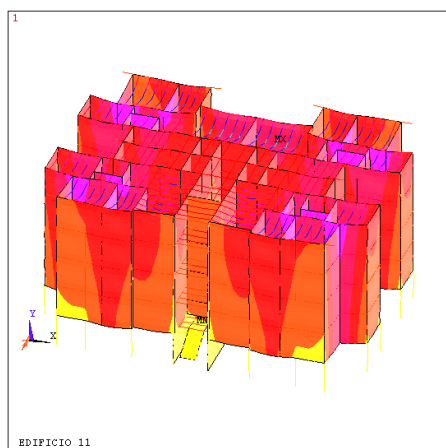


Figura 41. Desplazamientos del edificio debido a las cargas gravitatorias

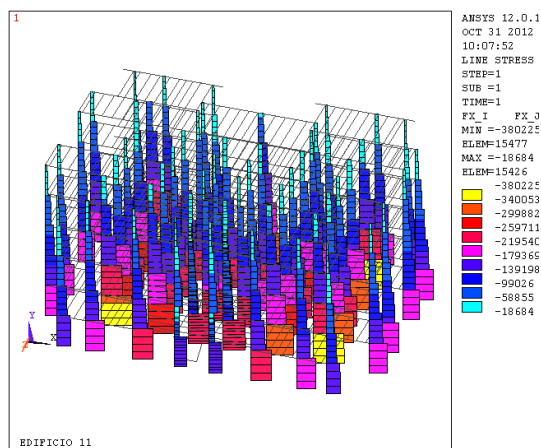


Figura 42. Axiles del edificio debido a las cargas gravitatorias

La siguiente Tabla 7 muestra los resultados de los tres modelos, el porcentaje de cargas que absorben cada uno de los elementos constructivos:

| DISTRIBUCIÓN DE CARGAS | | |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| MODELO | ELEMENTOS ESTRUCTURALES | ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES |
| ESTRUCTURA | 100 % | 0 % |
| ESTRUCTURA Y CERRAMIENTOS | 89,39 % | 10,61 % |
| ESTRUCTURA, CERRAMIENTOS Y TABIQUERÍA | 84,09 % | 15,91 % |

Tabla 7. Distribución de cargas total en el primer forjado

La rigidez de los ladrillos utilizados en el cerramientos es considerablemente menor que la de los utilizados en el modelo sencillo, por ello las cargas que este absorbe son inferiores.

A priori parece que la influencia de la tabiquería sobre las cargas que descenden por los pilares no es muy importante, sin embargo esto es debido a la distribución de éstos. La

mayoría de la tabiquería se encuentra entre vigas estructurales o siguiendo la dirección forjados unidireccionales, es decir soportan la carga de una de las viguetas de éstos.



Figura 43. Distribución de los forjados unidireccionales respecto a la tabiquería y la estructura

Únicamente 4 tabiques están posicionados transversalmente al forjado, por lo que si se analizan los pilares afectados por esta situación (Figura 43) la situación es diferente. Las diferencias de cargas que descenden por estos pilares se observan en la siguiente tabla:

| DISTRIBUCIÓN DE CARGAS PILARES TABIQUERÍA | | |
|---|-------------------------|----------------------------|
| MODELO | ELEMENTOS ESTRUCTURALES | ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES |
| ESTRUCTURA | 100 % | 0 % |
| ESTRUCTURA Y CERRAMIENTOS | 91,39 % | 8,71 % |
| ESTRUCTURA, CERRAMIENTOS Y TABIQUERÍA | 66 % | 24 % |

Tabla 8. Pilares afectados por la tabiquería transversal

Se observa que los tabiques transversales a los forjados absorben mayores cargas que los longitudinales, pudiendo llegar a ser un porcentaje muy importante dependiendo de la distribución.

5.3.2. – EFECTOS SOBRE EL EDIFICIO

Es importante conocer el efecto de los fenómenos que afectan a la estructura. Se introducen en el tercer modelo (Estructura, cerramientos y tabiquería) las cargas de humedad de tabiquería y cerramientos, la retracción del hormigón y las de temperatura en elementos exteriores, con valores correspondientes a la primera combinación del apartado 4.6.1.

Como resultado de los importantes efectos de la humedad y retracción aparecen tracciones en aquellos pilares más descargados, Figura 44:

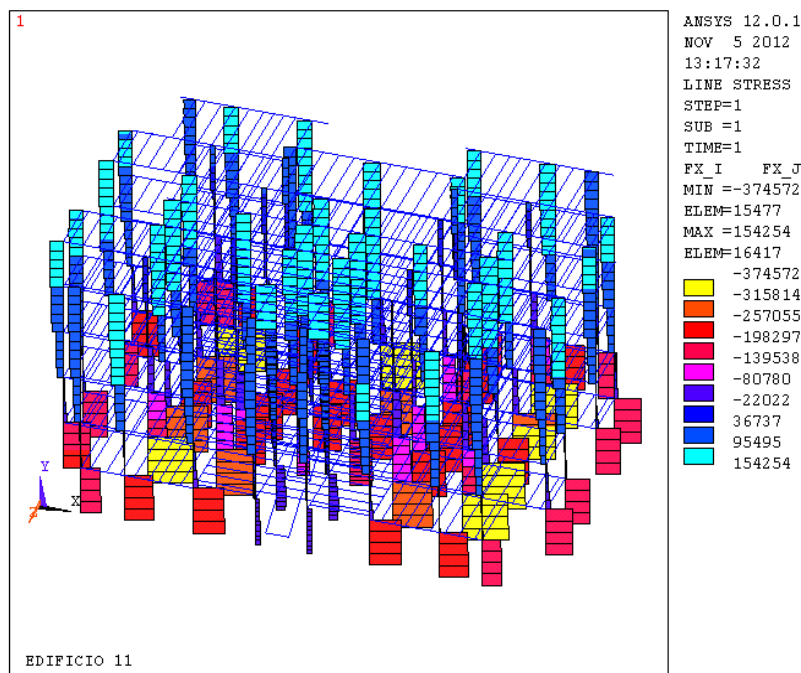


Figura 44. Axiles sobre los pilares debidos a la combinación de efectos en el edificio

En los pilares frontera del edificio aparecen tracciones desde la primera planta, debido a que las cargas de compresión iniciales eran menores y la actuación de los fenómenos externos sobre ellos es directa. Por otro lado, los pilares internos no se ven tan afectados por estos efectos dado que soportaban unas cargas mayores debidas a la estructura y los fenómenos afectan indirectamente sobre ellos. Estos resultados se encuentran en concordancia con los obtenidos en el modelo sencillo.

CAPÍTULO 6

PROBLEMÁTICA OCASIONADA

Como consecuencia de la situación mostrada en este proyecto, aparecen en los paños de fábrica y en la estructura un gran número de patologías que se repiten en las construcciones realizadas con este material.

En esta sección se recogen aquellas más frecuentes y de mayor importancia identificando su origen.

6.1. – ESFUERZO DE TRACCIÓN DE LOS PILARES

Como se ha observado en los análisis realizados, los esfuerzos de dilatación y retracción pueden provocar una carga de tracción en los pilares si no se produce la fractura previa de los paños de fábrica. Habitualmente este efecto no se identifica adecuadamente con su causa o los esfuerzos no son suficientes para provocar la fisura.



Figura 45. Fisura en pilar por compresión

6.2. – FISURAS VERTICALES Y HORIZONTALES

Si las fábricas son de considerable extensión y tienen coartado su movimiento longitudinal por estar embebidos entre los soportes de una estructura, se producirá un abombamiento en el centro de la fábrica hacia su cara externa, que si llega a superar la carga de rotura del muro, dará lugar a la aparición de la grieta.

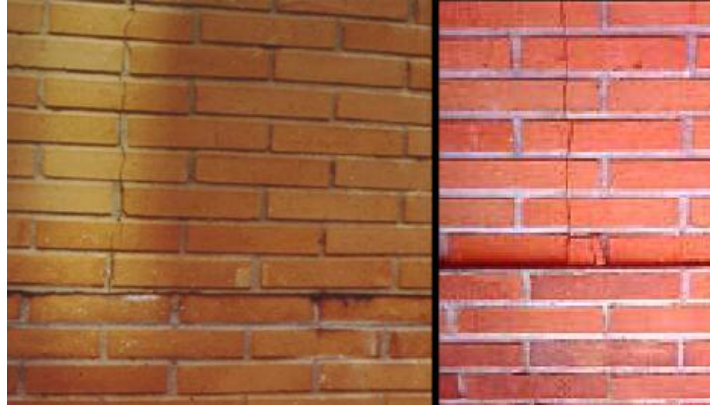


Figura 46. Fisuras verticales en fachadas de ladrillo

6.3. – PANDEO DEL CERRAMIENTO

Si las fábricas se convierten en muros de carga tienen un claro riesgo de pandeo, y si la dilatación de las fábricas por humedad o temperatura es importante, se incrementa.

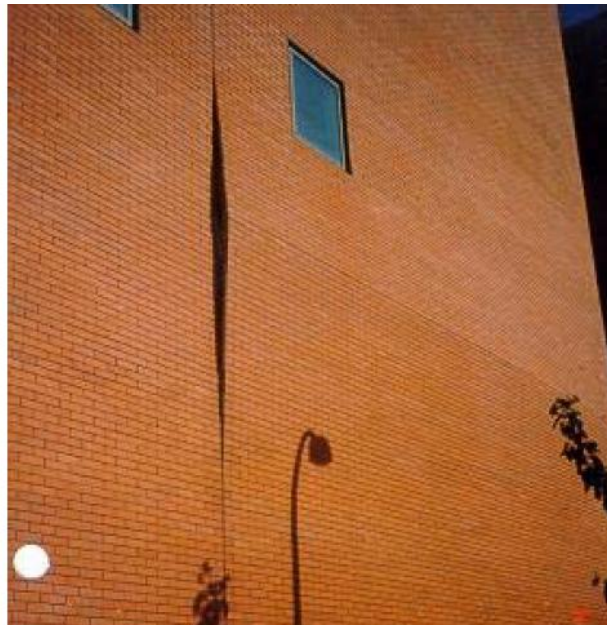


Figura 47. Pandeo de la fachada de ladrillo

Este riesgo es especialmente importante en tramos de menor espesor del paño como son los cantos de forjado, donde se puede producir abombamientos.

6.4. – FISURAS EN LAS ESQUINAS

Debido principalmente a la expansión por humedad de la fábrica y la no adecuada disposición de juntas verticales aparecen grietas en las esquinas a una longitud igual al espesor del cerramiento.



Figura 48. Fisura en la esquina del edificio

6.5. – FISURAS ALREDEDOR DE HUECOS

Las discontinuidades, como ventanas en el caso de cerramientos exteriores o puertas en tabiquería interior, son especialmente conflictivas. Se produce una concentración de esfuerzos en las esquinas de ellos, debido a los efectos sobre la estructura, que acaban provocando grietas como en la Figura 49.



Figura 49. Fisura en los cerramientos de ventana

6.6. – COLAPSO DE LAS JUNTAS DE DILATACIÓN

La excesiva distancia entre juntas de dilatación exigida por la norma provoca que la expansión del paño de fábrica sea mayor de lo que pueden absorber, provocando el colapso como se observa en la Figura 50.



Figura 50. Colapso de la junta vertical de un edificio

6.7. – DESCONCHADOS

Desprendimiento de una parte superficial del material que aparece un cráter más o menos profundo en el ladrillo. Estos desprendimientos pueden resultar peligrosos.

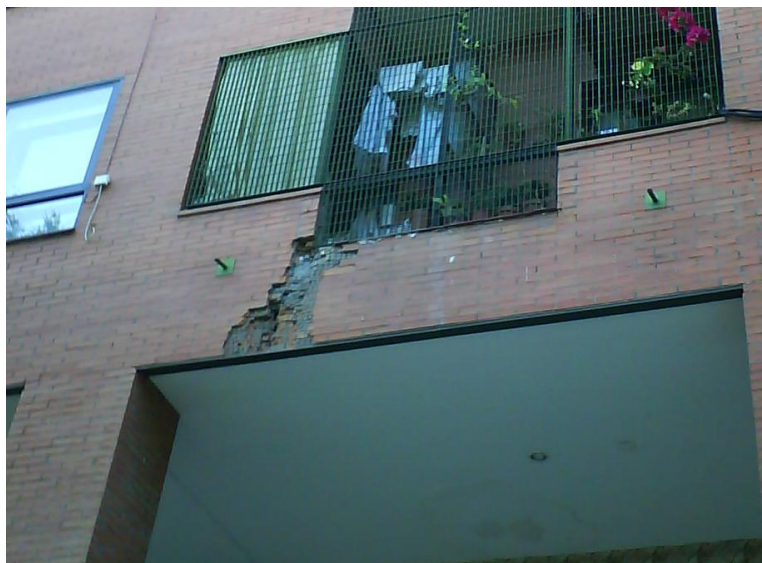


Figura 51. Desconchado de los ladrillo de una fachada

CAPÍTULO 7

SOLUCIONES PROPUESTAS

A la vista de los resultados obtenidos parece claro que la solución consiste en separar la estructura de los cerramientos. La mayoría de las normas analizadas así lo sugieren con el fin de mitigar el daño, pero disponiendo de un anclaje apropiado a los elementos del marco para evitar el fallo fuera de su plano.

La problemática de las obras de fábrica ha sido tratada de manera más exhaustiva en otros países conscientes de ella, especialmente en aquellos con alto riesgo sísmico. Países como Japón, Nueva Zelanda, Australia o USA han desarrollado métodos constructivos (Figuras 52 y 53) industriales para evitar la problemática.

Adrian.W.Page (Australia), un referente en cuanto al estudio del comportamiento de los cerramientos, afirma que las principales razones de la separación entre estructura y cerramientos son las dilataciones debidas a la expansión por humedad y la retracción de los pilares, y no la actuación frente a sismo. Las siguientes imágenes son algunos ejemplos de las soluciones constructivas comerciales de fachada (Anexo II) que permiten el movimiento en el plano del paño y proporcionan también un soporte lateral.

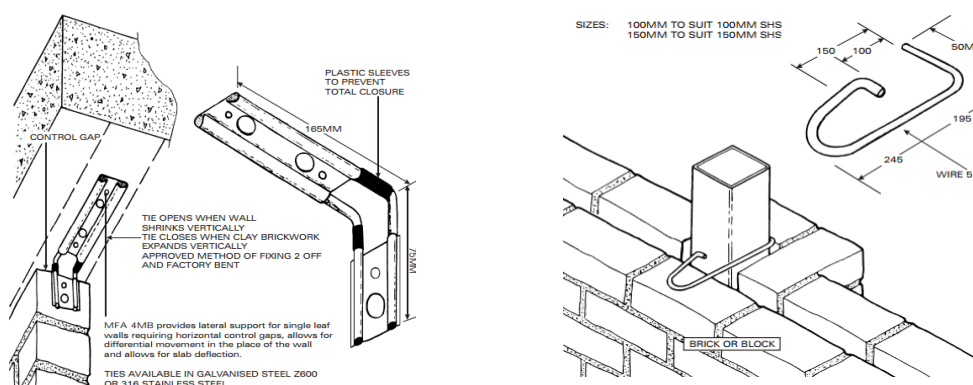


Figura 52. Productos Brunswick (Australia)

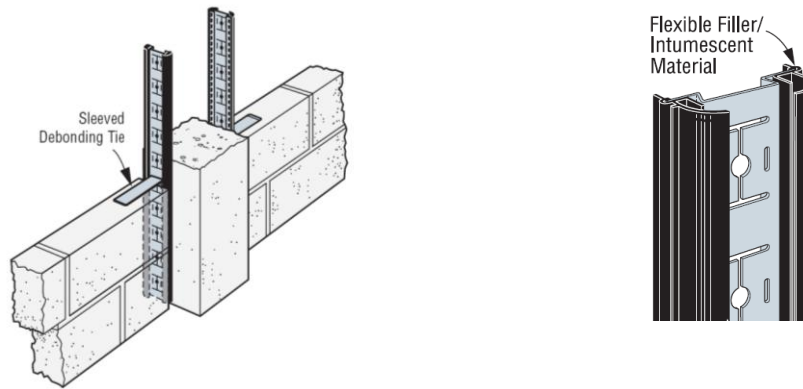


Figura 53. Producto Strong-tie (USA)

La separación de la tabiquería del forjado también ha sido atendida. La mayoría de las soluciones (Figura 54) propuestas consisten en dejar un hueco respecto al forjado superior o bien rellenarlo con material muy deformable y mediante perfiles metálicos fijar la posición del tabique.

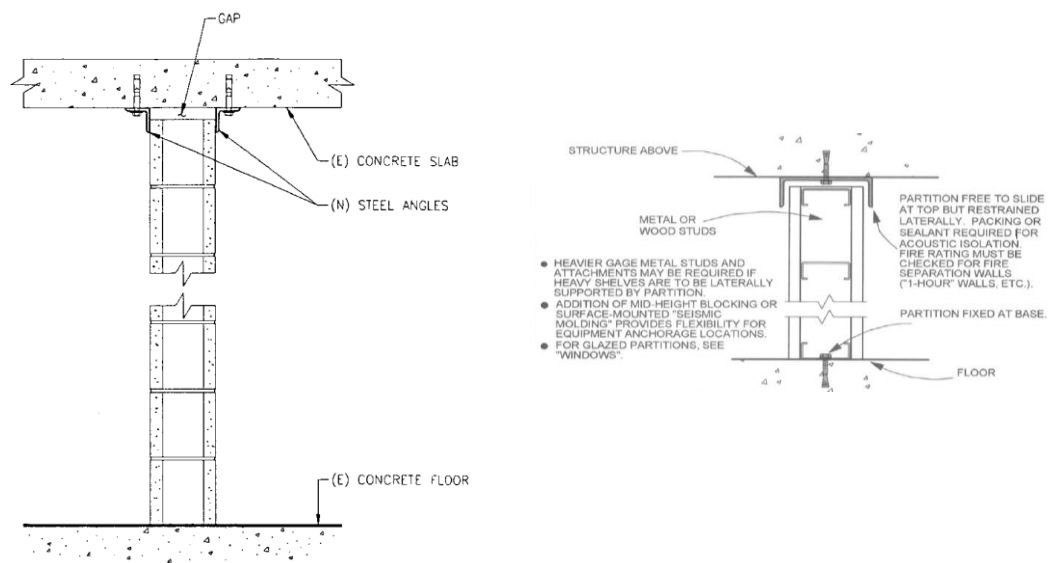


Figura 54. Detalle separación tabiquería-forjado

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES

8.1. – CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en los trabajos realizados, resultados que explican en los apartados precedentes, cabe concluir:

1. Los cerramientos y tabiquerías, elementos considerados tradicionalmente como “no-estructurales” determinan el reparto de esfuerzos en los edificios, llegando a transmitir mayores cargas que la propia estructura
2. Las razones que justifican el papel estructural de las fábricas son:
 - a. Su rigidez y resistencia del orden de las de la estructura convencional.
 - b. La conexión que, en la práctica, se establece entre las fábricas y la estructura, que iguala las deformaciones de ambas.
 - c. El comportamiento reológico de los materiales, que conlleva la expansión de la fábrica y la retracción de la estructura.

Este último punto resulta, a tenor de los resultados obtenidos, determinante.

3. Los resultados del análisis estructural convencional, desarrollado sobre la estructura desnuda, no se ajustan a los valores reales porque no consideran el efecto de la fábrica, y ello con independencia del tipo de análisis (estático o dinámico) y de las acciones (gravitatorias u horizontales).
4. Los sistemas constructivos actuales no contemplan la interacción entre fábrica y estructura, lo que justifica la frecuente aparición de los daños observados en los edificios.

8.2. – LÍNEAS FUTURAS DE ACTUACIÓN

Aunque hay cierta conciencia acerca de las situaciones y problemas que este proyecto muestra, es a menudo ignorada. Es necesario establecer unas líneas de actuación con el propósito de conseguir soluciones.

1. Necesidad de disminuir la incertidumbre sobre las características reales de la fábrica de ladrillo como material compuesto.
2. Modificación de la normativa referente a las obras de fábrica, con el fin de ajustarse a la realidad expuesta.
3. Desarrollo de nuevas soluciones constructivas viables, para poder competir frente a otros métodos constructivos.

ANEXOS

ANEXO I

RESULTADOS DE LOS MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS EN ANSYS

RESULTADOS DEL ESTUDIO PARAMÉTRICO DE LOS VALORES DE CARACTERIZACIÓN DE LA FÁBRICA

VALORES MEDIOS DE LA OBRA DE FÁBRICA

| | |
|-------------------------|---------------------------|
| MPDATA,EX,2,,3.210073E9 | MPDATA,PRYZ,2,,0.15 |
| MPDATA,EY,2,,4.012592E9 | MPDATA,PRXZ,2,,0.15 |
| MPDATA,EZ,2,,2E9 | MPDATA,GXY,2,,0.2E9 |
| MPDATA,PRXY,2,,0.15 | MPDATA,GYZ,2,,0.2287177E9 |
| | MPDATA,GXZ,2,,0.481511E9 |

| RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS | | | |
|---|----------|-------------------------------------|--|
| NODOS DE LA BASE | AXIL | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS PILARES | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS CERRAMIENTOS |
| 361 | -102 KN | 61,40% | 38,60 % |
| 376 | -164 KN | | |
| 391 | -165 KN | | |
| 406 | -164 KN | | |
| 421 | -102 KN | | |
| SUMA AXIL PILARES | -697 KN | | |
| CARGA TOTAL | -1135 KN | | |
| SUMA DE LOS CERRAMIENTOS | -438 KN | | |

VALORES MÁXIMO DE LA OBRA DE FÁBRICA

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| MPDATA,EX,2,,6.420146E9 | MPDATA,PRYZ,2,,0.15 |
| MPDATA,EY,2,,8.025183E9 | MPDATA,PRXZ,2,,0.15 |
| MPDATA,EZ,2,,5E9 | MPDATA,GXY,2,,2E9 |
| MPDATA,PRXY,2,,0.15 | MPDATA,GYZ,2,,2.568059E9 |
| | MPDATA,GXZ,2,,3.210073E9 |

| RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS | | | |
|---|------------|-------------------------------------|--|
| NODOS DE LA BASE | AXIL | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS PILARES | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS CERRAMIENTOS |
| 361 | -104 KN | 52,2% | 47,8 % |
| 376 | -126,88 KN | | |
| 391 | -131 KN | | |
| 406 | -126,88 KN | | |
| 421 | -104 KN | | |
| SUMA AXIL PILARES | -592,76 KN | | |
| CARGA TOTAL | -1135 KN | | |
| SUMA DE LOS CERRAMIENTOS | -542,24 KN | | |

VALORES MÍNIMOS DE LA OBRA DE FÁBRICA

MPDATA,EX,2,,0.04011016E9

MPDATA,PRXZ,2,,0.15

MPDATA,EY,2,,0.2674011E9

MPDATA,GXY,2,,0.06E9

MPDATA,EZ,2,,0.03E9

MPDATA,GYZ,2,,0.0762093E9

MPDATA,PRXY,2,,0.15

MPDATA,GXZ,2,,0.1604406E9

MPDATA,PRYZ,2,,0.15

| RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS | | | |
|---|-------------|-------------------------------------|--|
| NODOS DE LA BASE | AXIL | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS PILARES | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS CERRAMIENTOS |
| 361 | -145,61 KN | 98,74 % | 1,26 % |
| 376 | -276,8 KN | | |
| 391 | -275,85 KN | | |
| 406 | -276,8 KN | | |
| 421 | -145,61 KN | | |
| SUMA AXIL PILARES | -1120,67 KN | | |
| CARGA TOTAL | -1135 KN | | |
| SUMA DE LOS CERRAMIENTOS | -14,33 KN | | |

MPDATA,EX,2,,3.210073E9

MPDATA,EY,2,,4.012592E9

MPDATA,EZ,2,,2E9

MPDATA,PRXY,2,,0.15

MPDATA,PRYZ,2,,0.15

MPDATA,PRXZ,2,,0.15

MPDATA,GXY,2,,2E9

MPDATA,GYZ,2,,2.568059E9

MPDATA,GXZ,2,,3.210073E9

| RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS | | | |
|---|------------|--|---|
| NODOS DE LA BASE | AXIL | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS PILARES | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS CERRAMIENTOS |
| 361 | -133,42 KN | 68,63 % | 31,37 % |
| 376 | -168,07 KN | | |
| 391 | -175,94 KN | | |
| 406 | -168,07 KN | | |
| 421 | -133,42 KN | | |
| SUMA AXIL PILARES | -778,92 KN | | |
| CARGA TOTAL | -1135 KN | | |
| SUMA DE LOS CERRAMIENTOS | -356,08 KN | | |

RESULTADOS DEL ESTUDIO PARAMÉTRICO DE LA LONGITUD DE LAS LUCES DE LA ESTRUCTURA

LUCES = 3 METROS

| RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS | | | |
|---|----------|-------------------------------------|--|
| NODOS DE LA BASE | AXIL | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS PILARES | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS CERRAMIENTOS |
| 361 | -102 KN | 61,40% | 38,60 % |
| 376 | -164 KN | | |
| 391 | -165 KN | | |
| 406 | -164 KN | | |
| 421 | -102 KN | | |
| SUMA AXIL PILARES | -697 KN | | |
| CARGA TOTAL | -1135 KN | | |
| SUMA DE LOS CERRAMIENTOS | -438 KN | | |

LUCES = 4,5 METROS

| RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS | | | |
|---|------------|-------------------------------------|--|
| NODOS DE LA BASE | AXIL | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS PILARES | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS CERRAMIENTOS |
| 649 | -119,22 KN | 50,10 % | 49,90 % |
| 667 | -184,96 KN | | |
| 685 | -185,41 KN | | |
| 703 | -184,96 KN | | |
| 721 | -119,22 KN | | |
| SUMA AXIL PILARES | -793,77 | | |
| CARGA TOTAL | -1584,5 KN | | |
| SUMA DE LOS CERRAMIENTOS | -790,730 | | |

LUCES = 6 METROS

| RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS | | | |
|---|-------------|--|---|
| NODOS DE LA BASE | AXIL | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS PILARES | PORCENTAJE DE CARGAS DE LOS CERRAMIENTOS |
| 865 | -130,09 KN | 39,96 % | 60,04 % |
| 883 | -213,17 KN | | |
| 901 | -213,04 KN | | |
| 919 | -213,17 KN | | |
| 937 | -130,09 KN | | |
| SUMA AXIL PILARES | -899,56 KN | | |
| CARGA TOTAL | -2251,1 KN | | |
| SUMA DE LOS CERRAMIENTOS | -1351,54 KN | | |

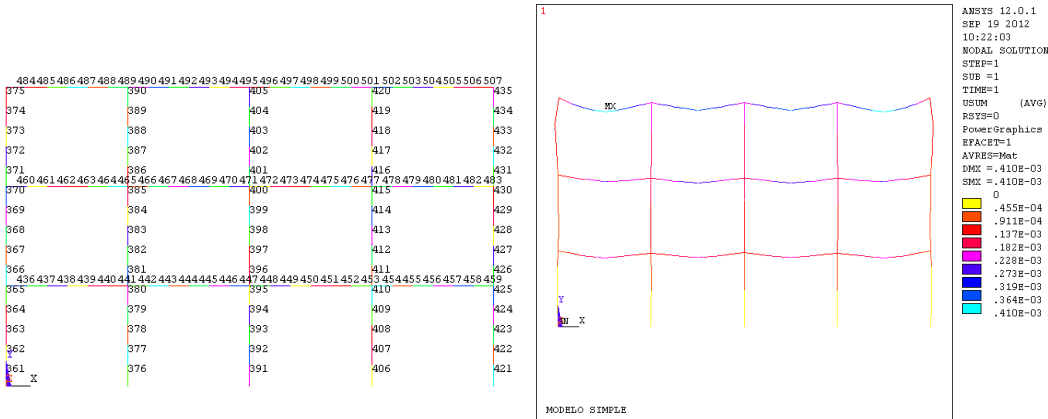
RESULTADOS DE LA HISTORIA DE CARGAS

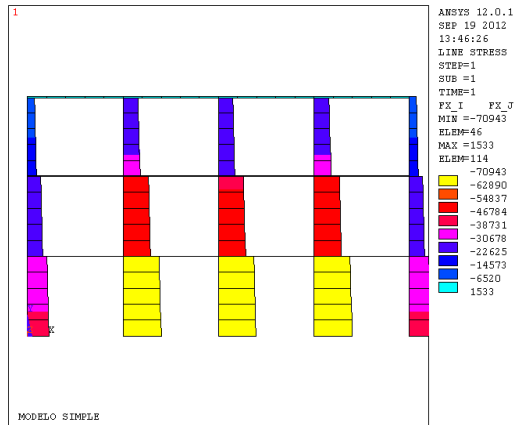
PRIMER MODELO

CARGAS

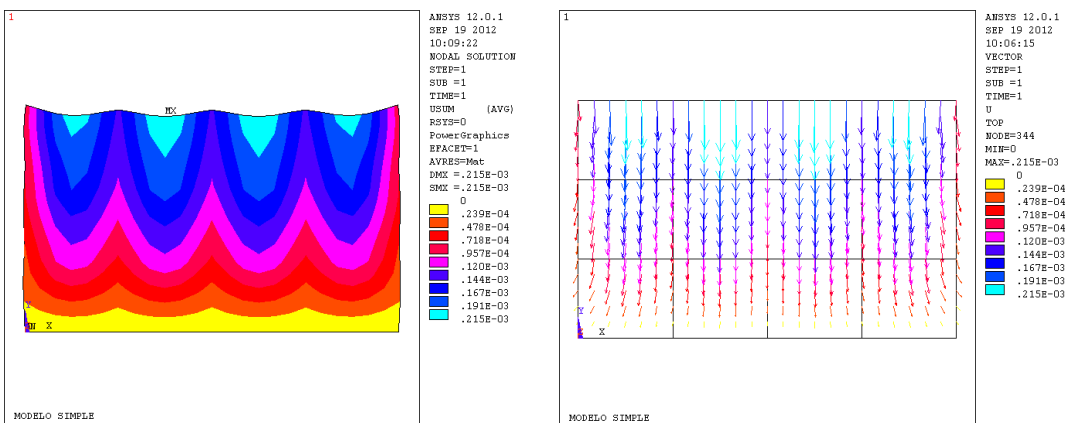
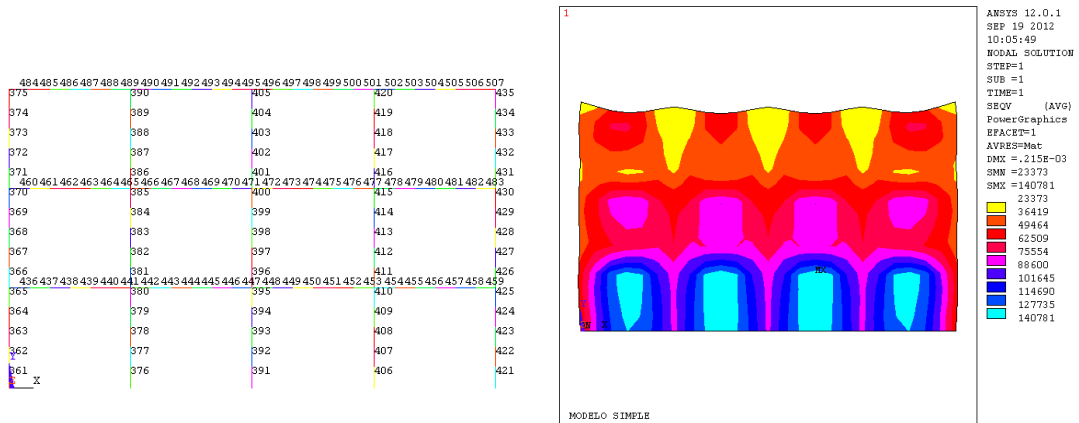
| INTRODUCCIÓN DE CARGAS PRIMER MODELO | | |
|--------------------------------------|-------------|--|
| SUB-MODELO | PLANTAS | CARGAS INTRODUCIDAS |
| ESTRUCTURA | Intermedias | $\frac{3}{4} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l \right)$ |
| | Cubierta | $\frac{3}{4} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l + 2,5 \frac{kN}{m^2} (CUBIERTA) \cdot l \right)$ |
| ESTRUCTURA + CERRAMIENTOS | Intermedias | $\frac{1}{4} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l \right) + \rho_{CERRAMIENTOS} + \left(1,5 \frac{KN}{m^2} + \frac{1,1KN}{m^2} \right) \cdot l + 0.3 \cdot 2 \frac{kN}{m^2} (SOBRECARGAS) \cdot l$ |
| | Cubierta | $\frac{1}{4} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l + 2,5 \frac{kN}{m^2} (CUBIERTA) \cdot l \right) + \rho_{CERRAMIENTOS} + \left(1,5 \frac{KN}{m^2} + \frac{1,1KN}{m^2} \right) \cdot l + 0.3 \cdot 2 \frac{kN}{m^2} (SOBRECARGAS) \cdot l$ |

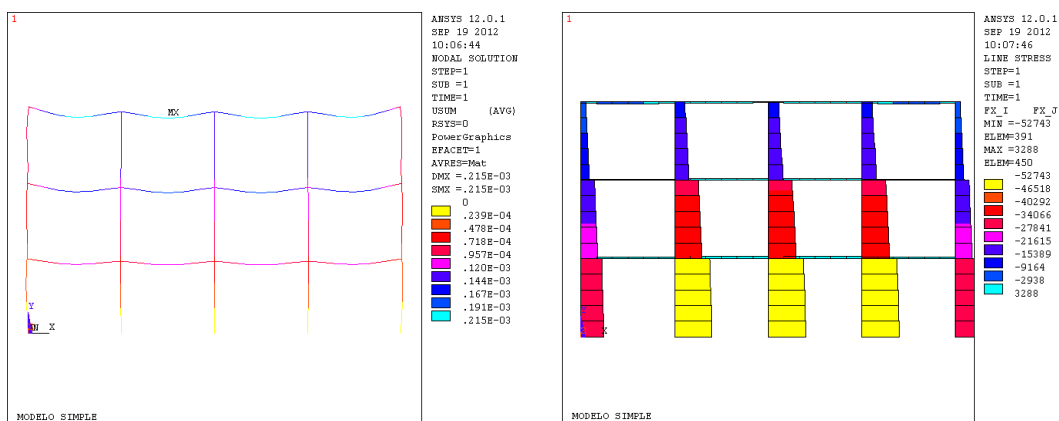
ESTRUCTURA





CERRAMIENTOS



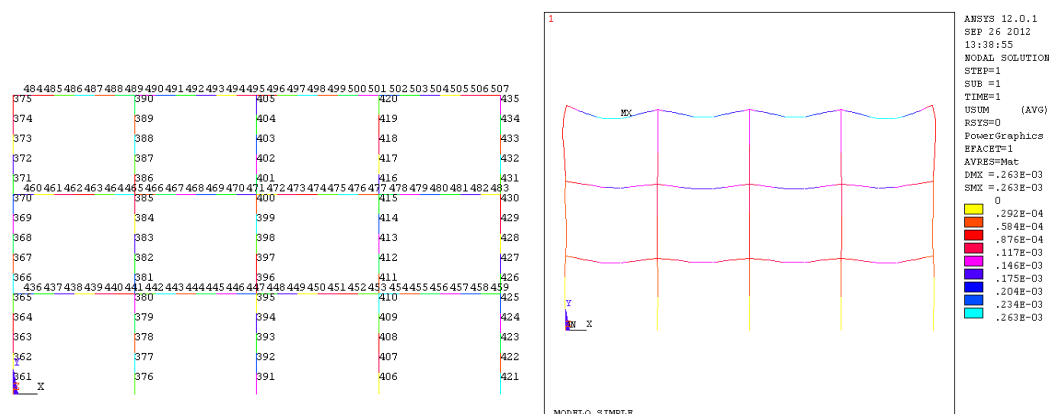


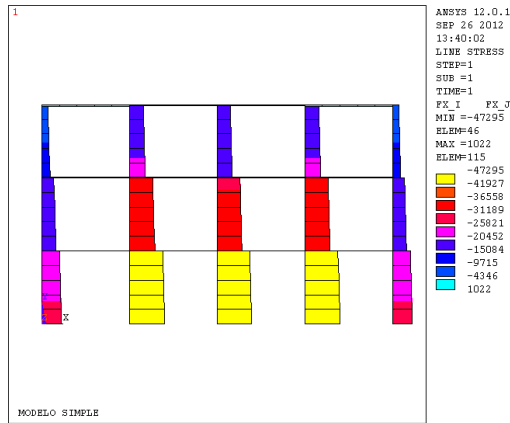
SEGUNDO MODELO

CARGAS

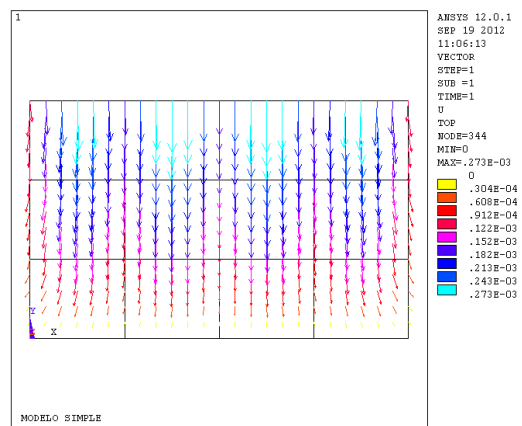
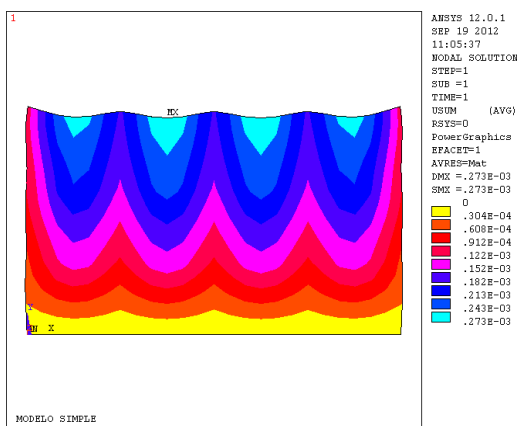
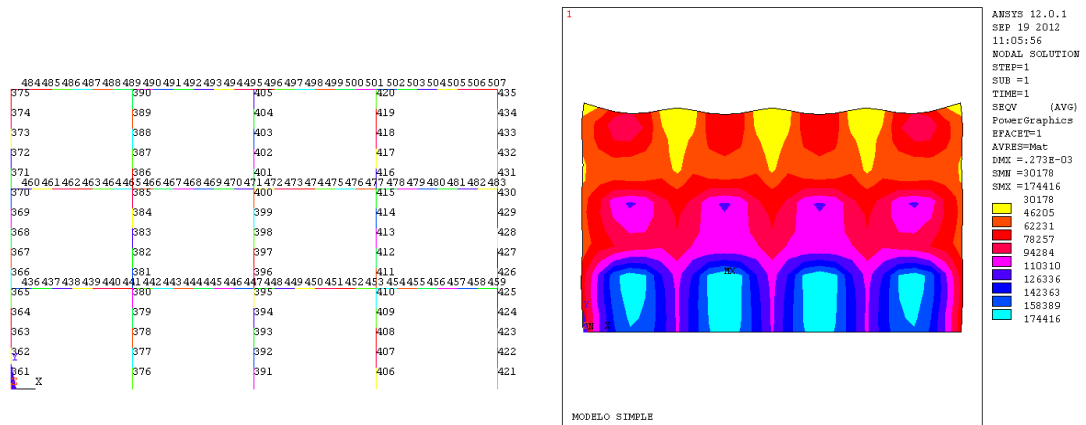
| INTRODUCCIÓN DE CARGAS SEGUNDO MODELO | | |
|---------------------------------------|-------------|--|
| SUB-MODELO | PLANTAS | CARGAS INTRODUCIDAS |
| ESTRUCTURA | Intermedias | $\frac{1}{2} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l \right)$ |
| | Cubierta | $\frac{1}{2} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l + 2,5 \frac{kN}{m^2} (CUBIERTA) \cdot l \right)$ |
| ESTRUCTURA + CERRAMIENTOS | Intermedias | $\frac{1}{2} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l \right) + \rho_{CERRAMIENTOS} + \left(1,5 \frac{KN}{m^2} + \frac{1,1KN}{m^2} \right) \cdot l + 0,3 \cdot 2 \frac{kN}{m^2} (SOBRECARGAS) \cdot l$ |
| | Cubierta | $\frac{1}{2} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l + 2,5 \frac{kN}{m^2} (CUBIERTA) \cdot l \right) + \rho_{CERRAMIENTOS} + \left(1,5 \frac{KN}{m^2} + \frac{1,1KN}{m^2} \right) \cdot l + 0,3 \cdot 2 \frac{kN}{m^2} (SOBRECARGAS) \cdot l$ |

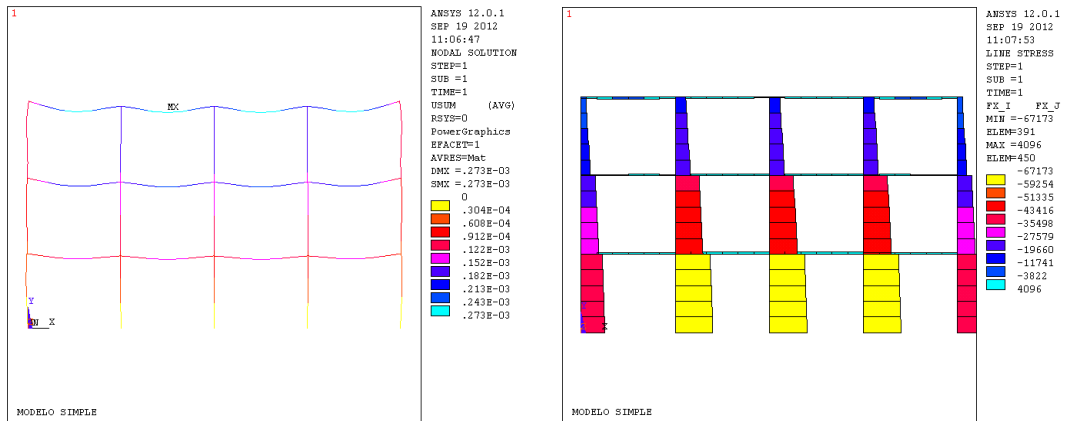
ESTRUCTURA





CERRAMIENTOS



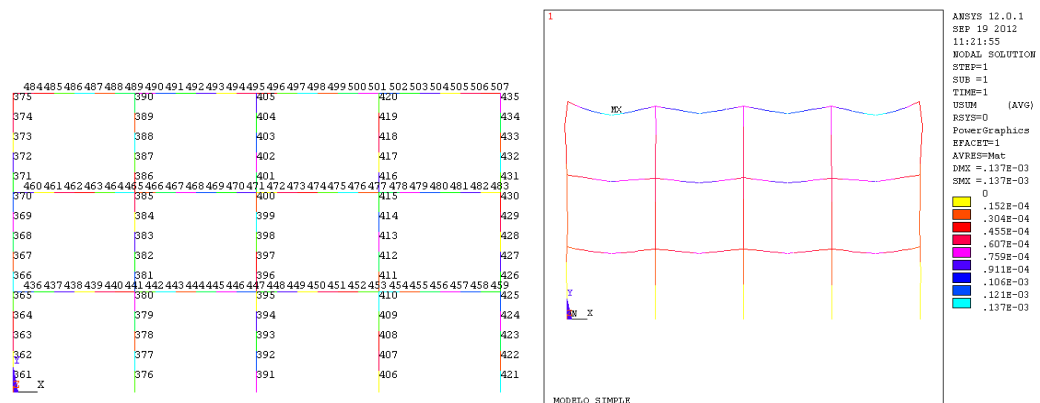


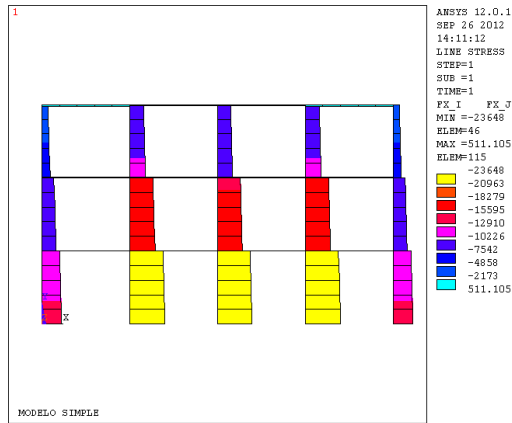
TERCER MODELO

CARGAS

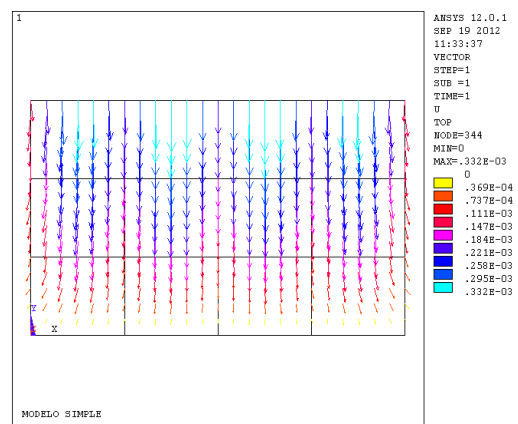
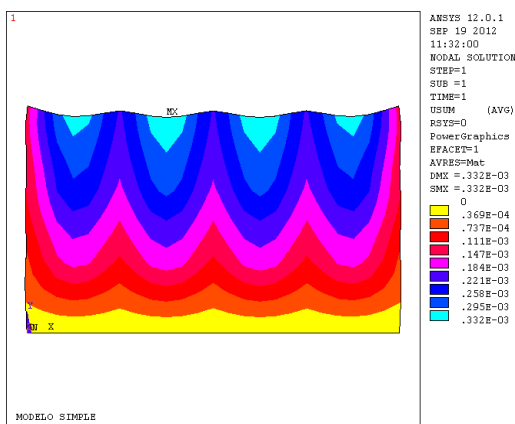
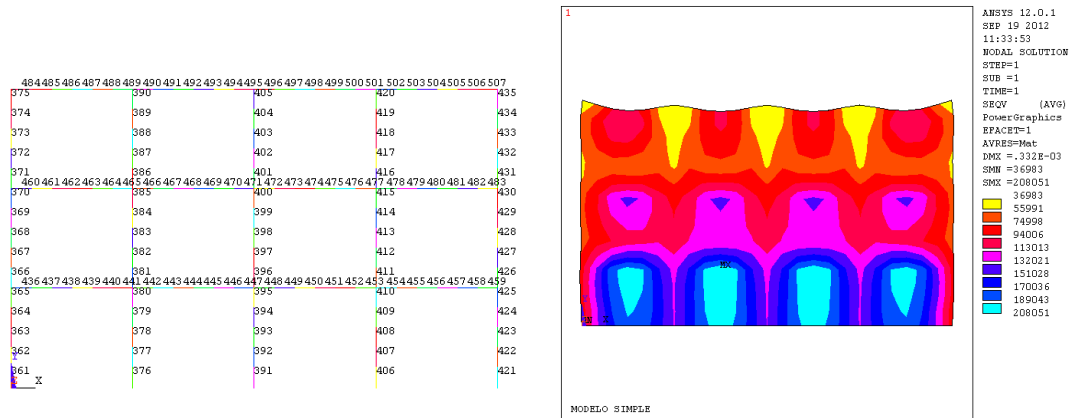
| INTRODUCCIÓN DE CARGAS SEGUNDO MODELO | | |
|---------------------------------------|-------------|--|
| SUB-MODELO | PLANTAS | CARGAS INTRODUCIDAS |
| ESTRUCTURA | Intermedias | $\frac{1}{4} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l \right)$ |
| | Cubierta | $\frac{1}{4} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l + 2,5 \frac{kN}{m^2} (CUBIERTA) \cdot l \right)$ |
| ESTRUCTURA + CERRAMIENTOS | Intermedias | $\frac{3}{4} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l \right) + \rho_{CERRAMIENTOS} + \left(1,5 \frac{KN}{m^2} + \frac{1,1KN}{m^2} \right) \cdot l + 0,3 \cdot 2 \frac{kN}{m^2} (SOBRECARGAS) \cdot l$ |
| | Cubierta | $\frac{3}{4} \cdot \left(\rho_{ESTRUCTURA} + 2,5 \frac{kN}{m^2} \cdot l + 2,5 \frac{kN}{m^2} (CUBIERTA) \cdot l \right) + \rho_{CERRAMIENTOS} + \left(1,5 \frac{KN}{m^2} + \frac{1,1KN}{m^2} \right) \cdot l + 0,3 \cdot 2 \frac{kN}{m^2} (SOBRECARGAS) \cdot l$ |

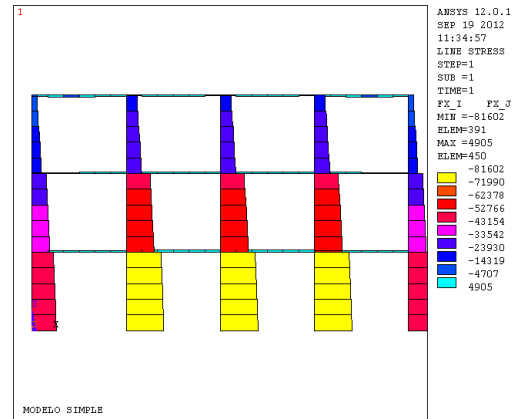
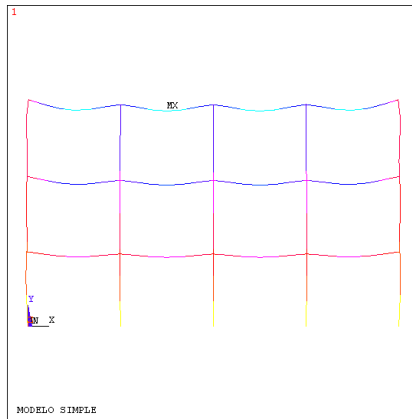
ESTRUCTURA





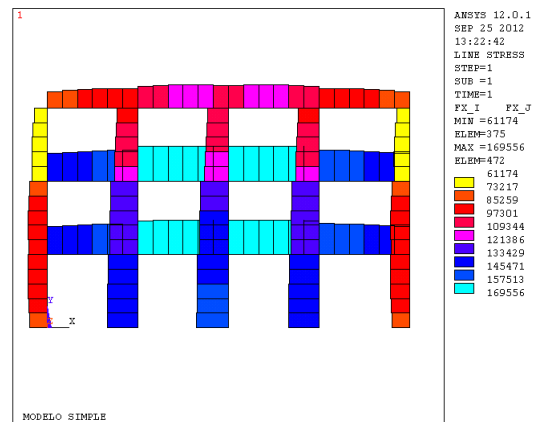
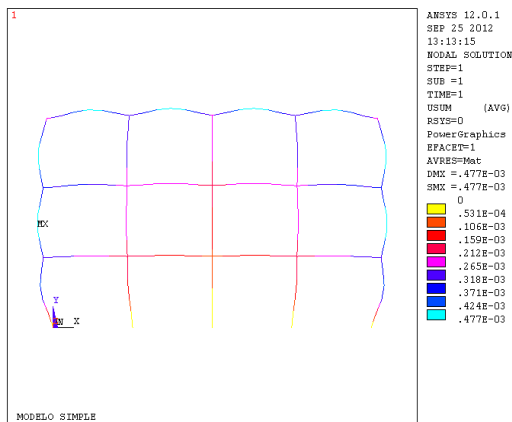
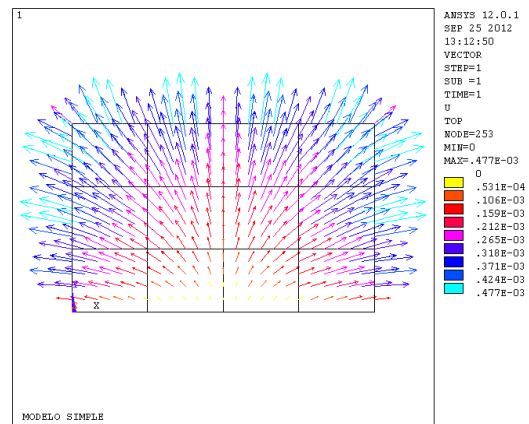
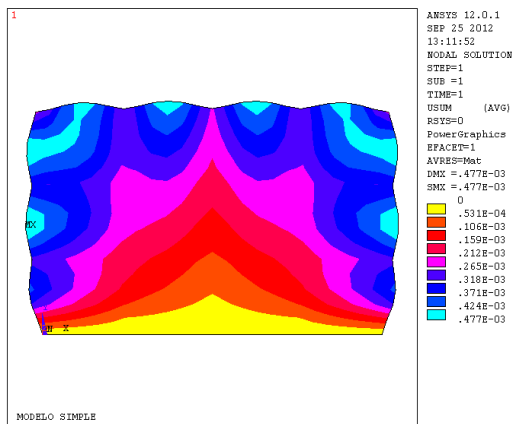
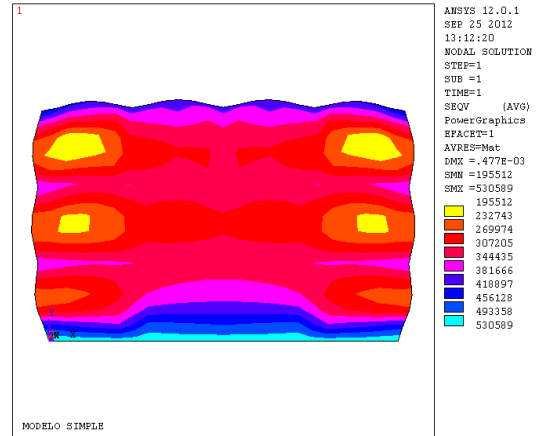
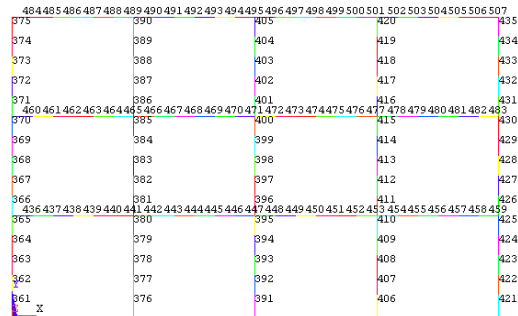
CERRAMIENTOS

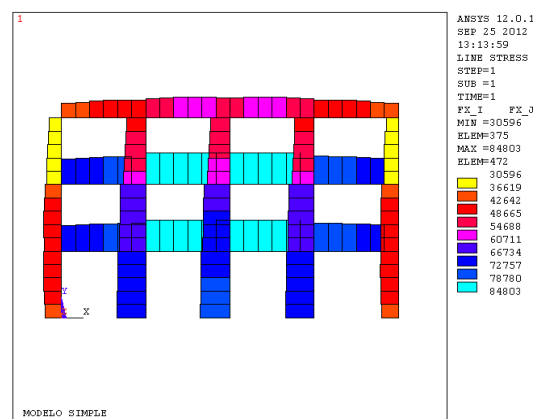
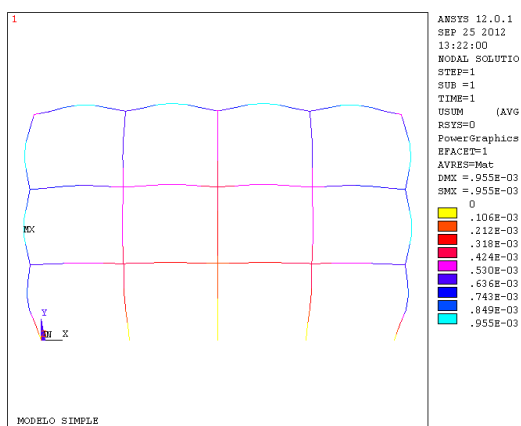
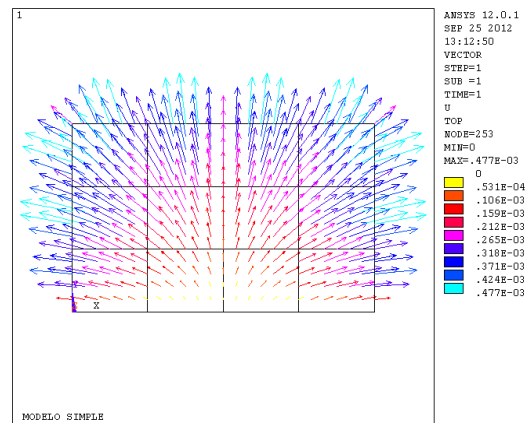
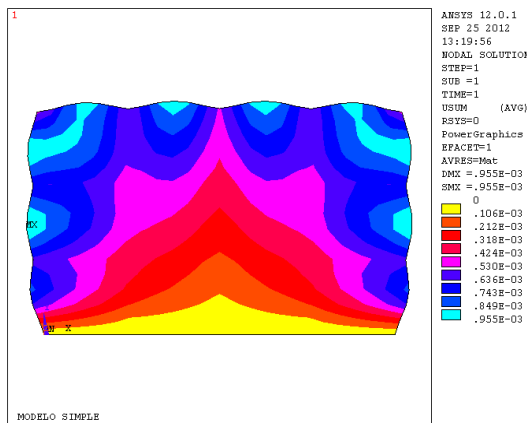
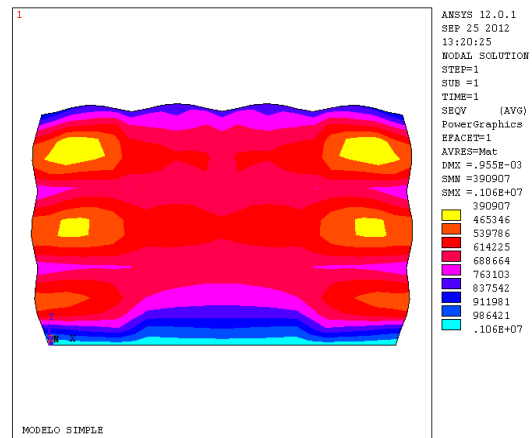
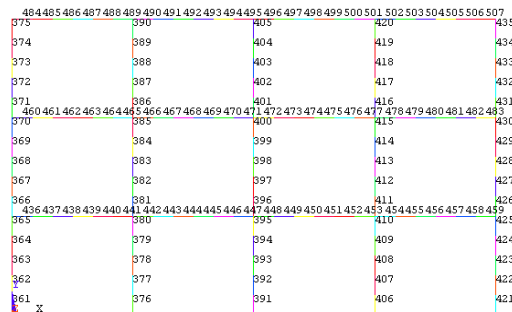


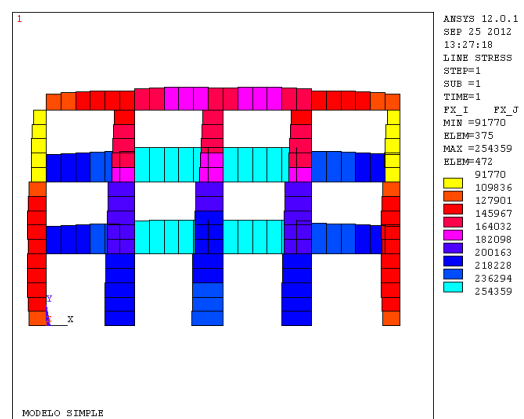
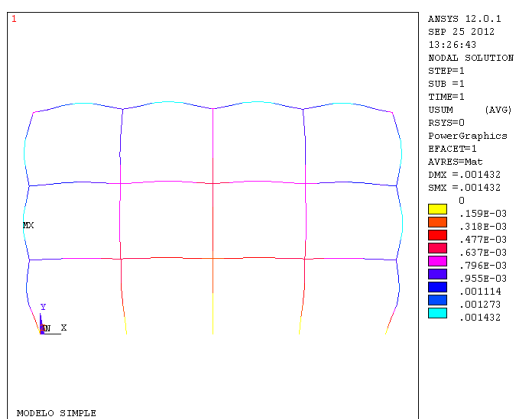
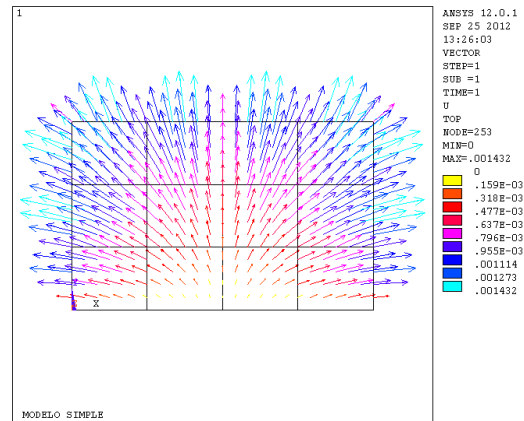
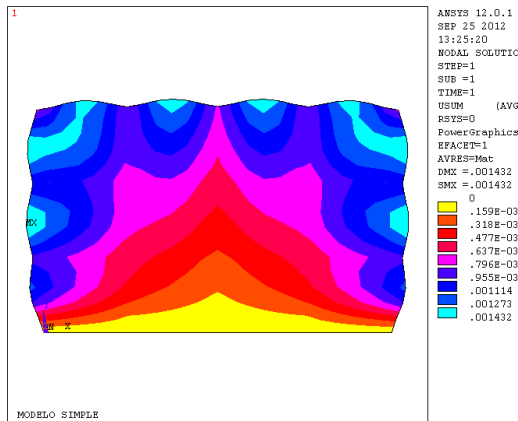
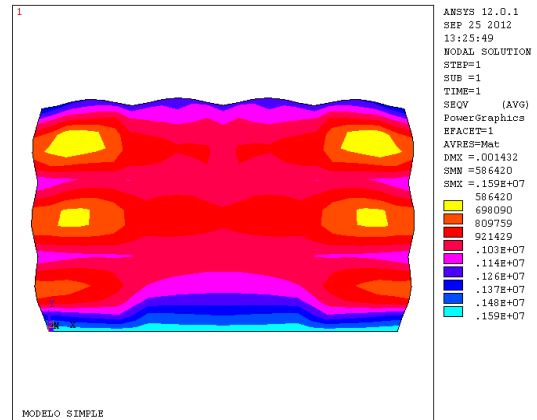
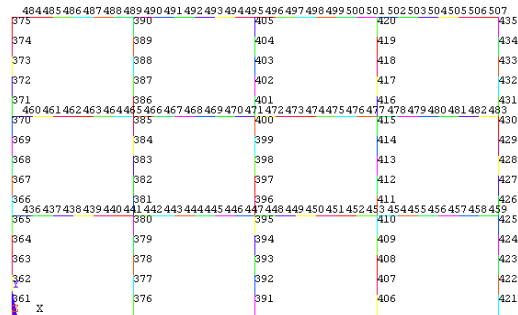


RESULTADOS DE LA EXPANSIÓN POR HUMEDAD

EXPANSIÓN = 0,1 MM/M

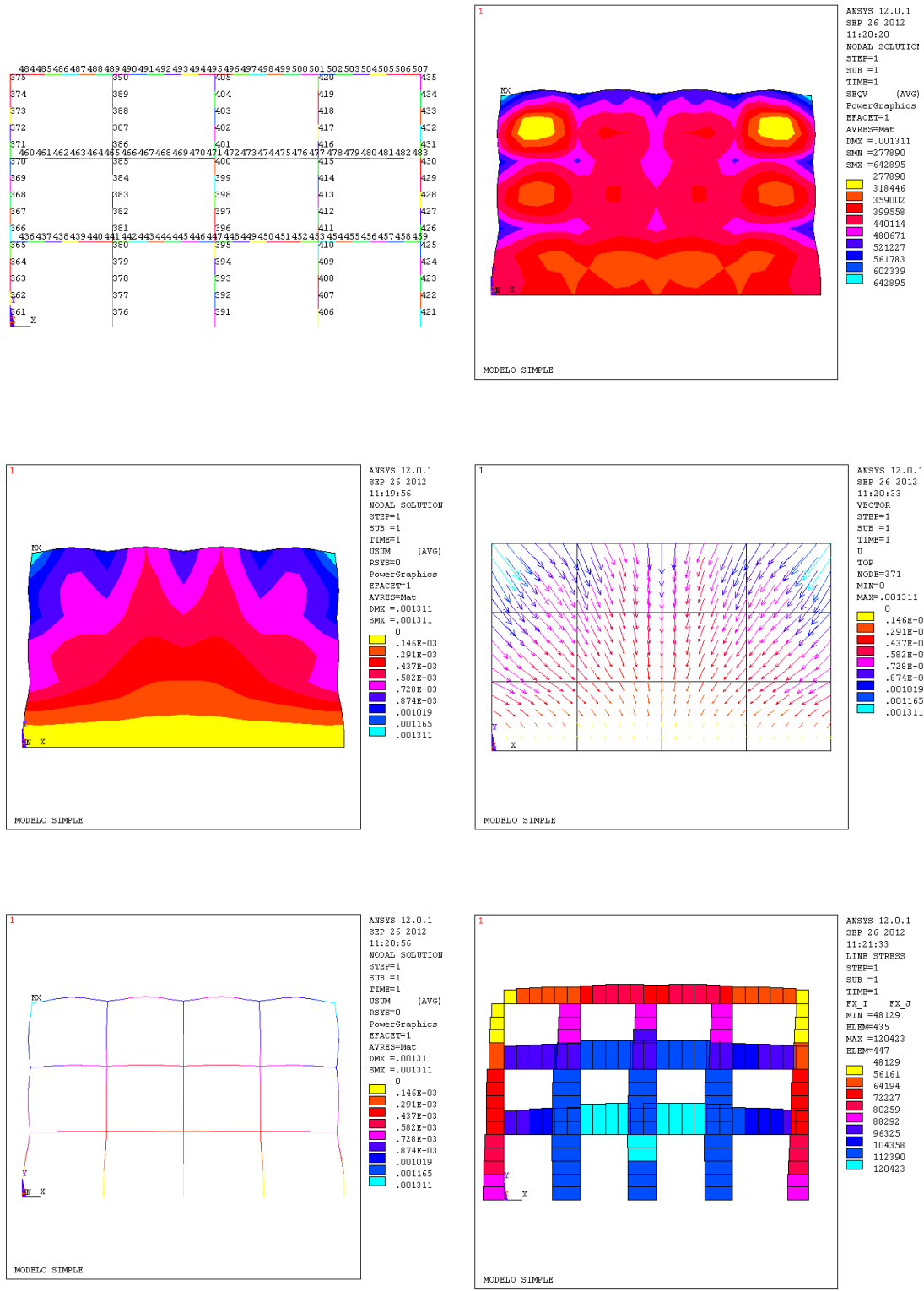






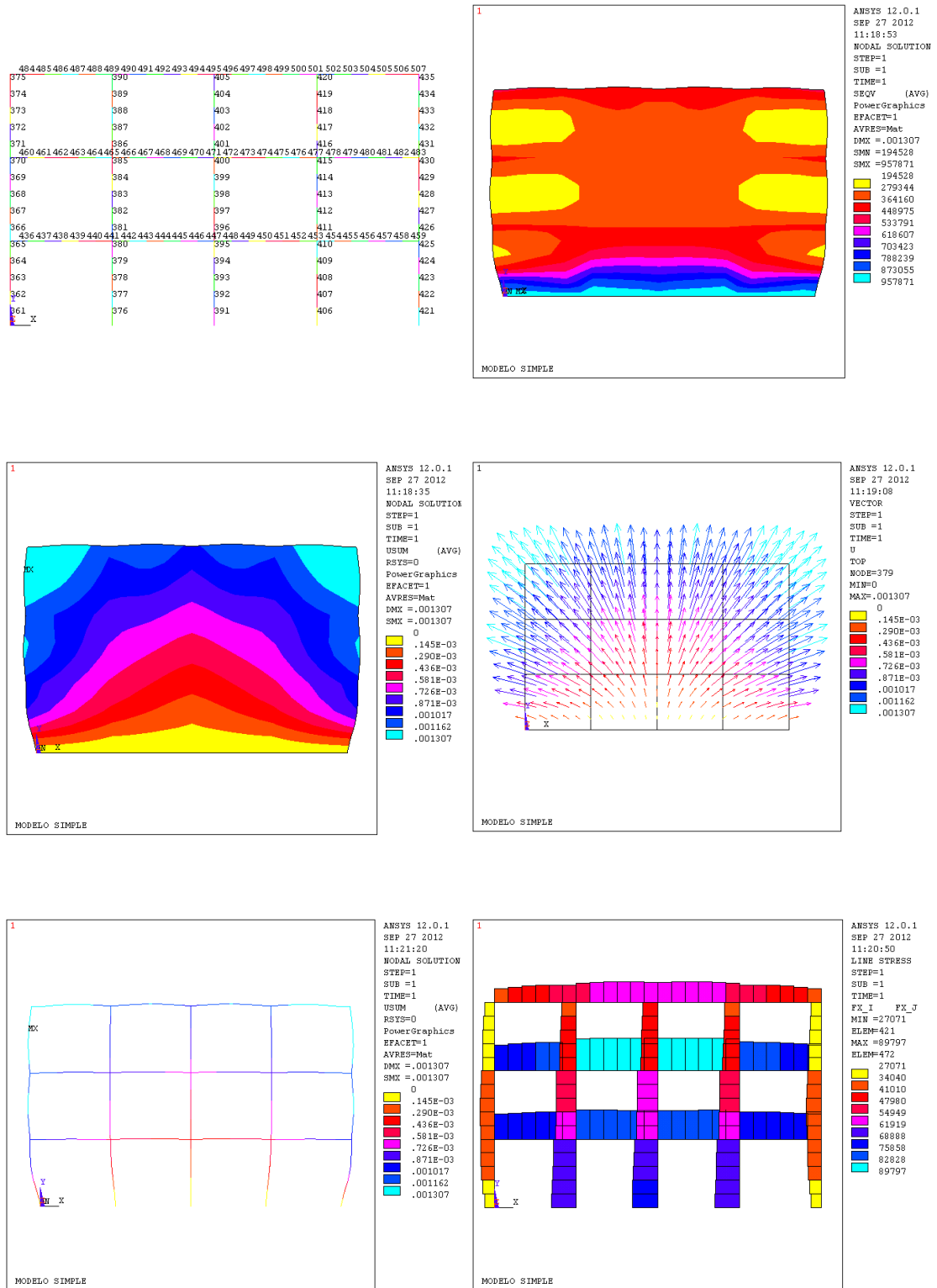
RESULTADOS DE LA RETRACCIÓN DEL HORMIGÓN

RETRACCIÓN=0,175 MM/M

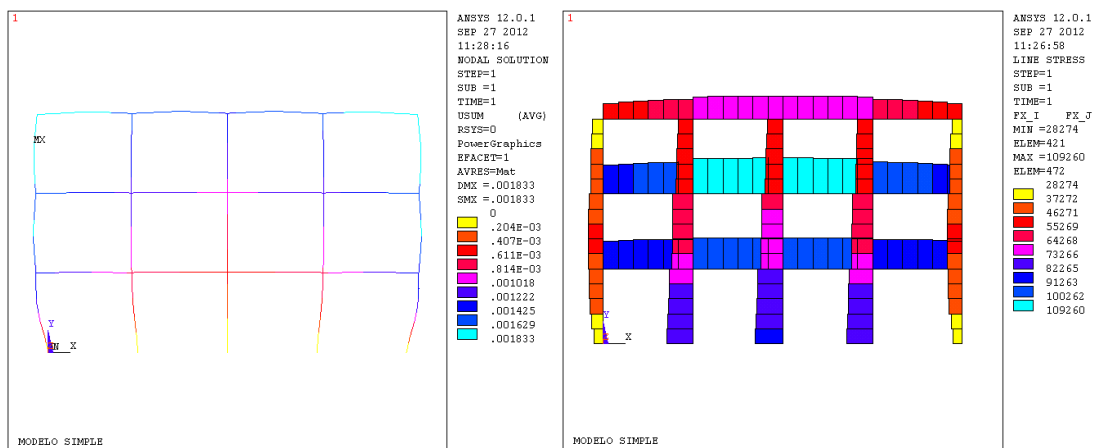
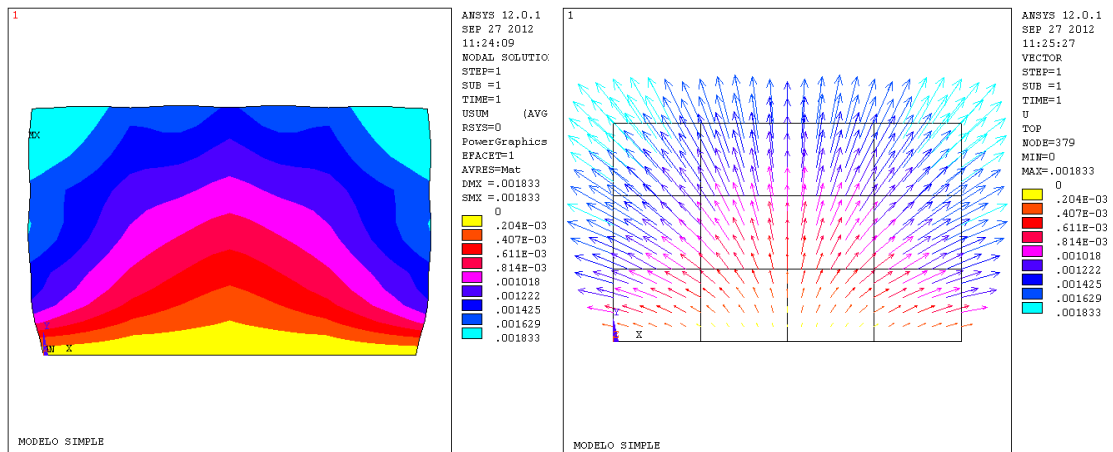
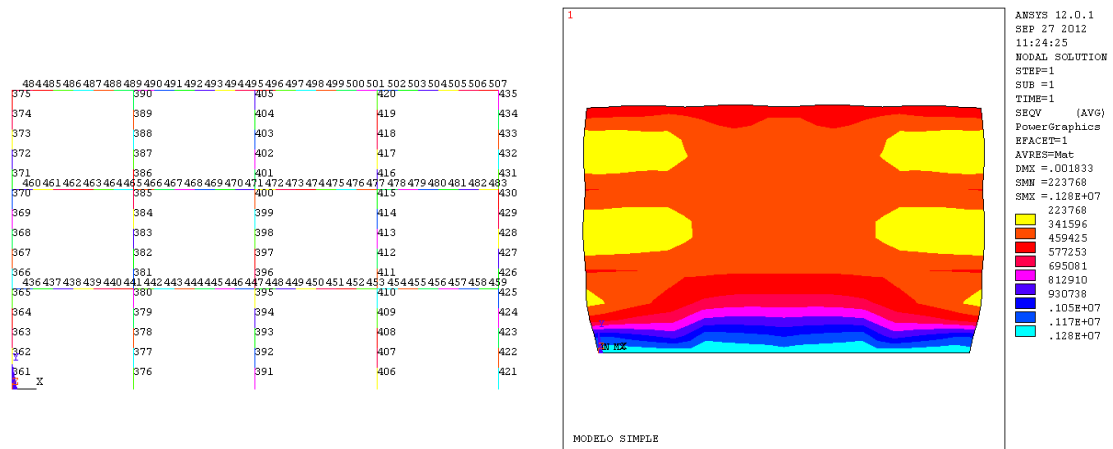


RESULTADOS DE LA DILATACIÓN POR TEMPERATURA

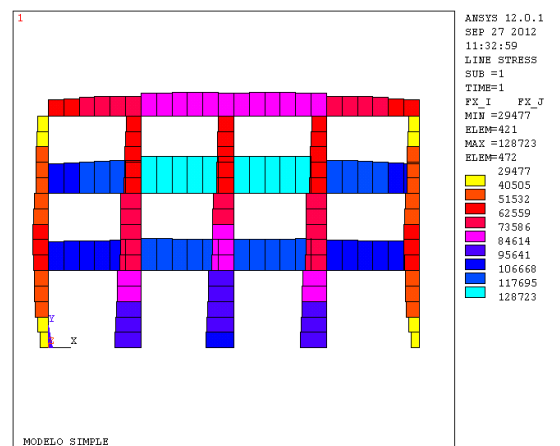
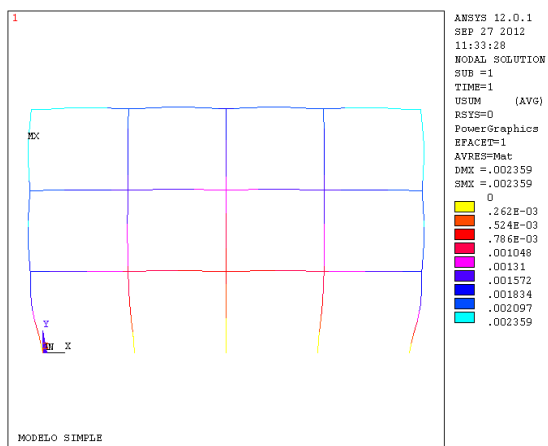
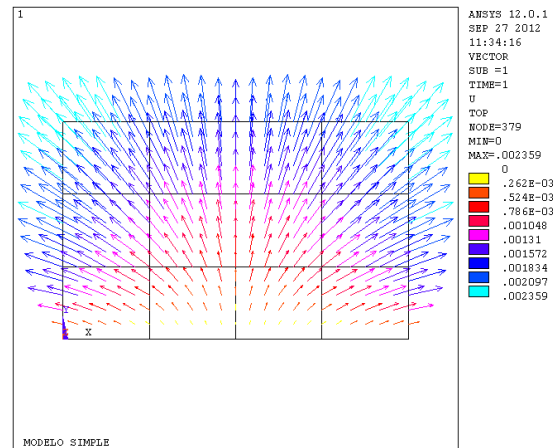
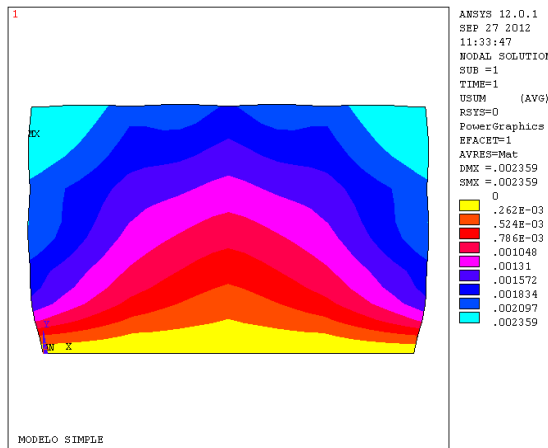
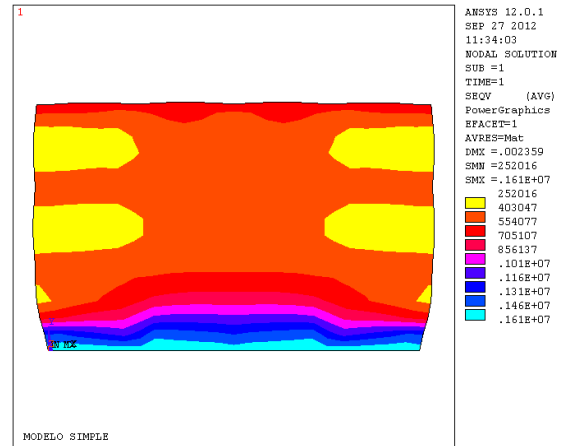
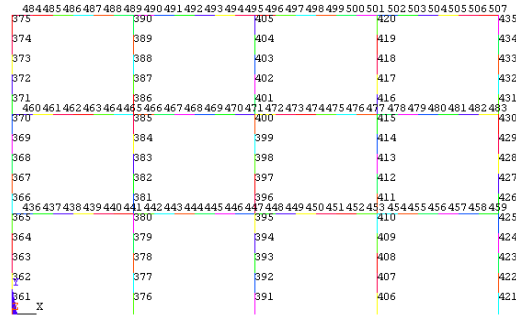
TEMPERATURA CERRAMIENTOS=50; TEMPERATURA ESTRUCTURA =30



TEMPERATURA CERRAMIENTOS=60; TEMPERATURA ESTRUCTURA =35



TEMPERATURA CERRAMIENTOS=70; TEMPERATURA ESTRUCTURA =40



RESULTADOS DE LA COMBINACIÓN DE CARGAS

PRIMERA COMBINACIÓN

| Resultados 95% casos | | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------------|-------------------------|---------|-------------|----------|
| Nodos | Axil Humedad | Axil Retracción | Axil Historia de cargas | | Temperatura | Total |
| 361 | 41115 | 82113 | -40010 | -32100 | 27071 | 78189 |
| 362 | 43434 | 81138 | -39184 | -31517 | 31802 | 85673 |
| 363 | 45070 | 79215 | -38357 | -30857 | 35844 | 90915 |
| 364 | 45252 | 76435 | -37530 | -30163 | 37761 | 91755 |
| 365 | 44400 | 73587 | -36703 | -29494 | 37855 | 89645 |
| 366 | 43607 | 68938 | -28436 | -23600 | 39084 | 99593 |
| 367 | 44418 | 69998 | -27609 | -22676 | 39937 | 104068 |
| 368 | 44448 | 70089 | -26782 | -21650 | 39939 | 106044 |
| 369 | 43299 | 68601 | -25955 | -20610 | 38722 | 104057 |
| 370 | 41538 | 66249 | -25128 | -19650 | 36898 | 99907 |
| 371 | 36276 | 57828 | -16526 | -11929 | 32240 | 97889 |
| 372 | 36466 | 57681 | -15699 | -10792 | 32665 | 100321 |
| 373 | 35690 | 56112 | -14872 | -9515 | 32166 | 99581 |
| 374 | 33522 | 52611 | -14046 | -8227,7 | 30265 | 94124,3 |
| 375 | 30596 | 48129 | -13219 | -7079,5 | 27560 | 85986,5 |
| 376 | 72002 | 1,09E+05 | -70943 | -52448 | 67361 | 124852 |
| 377 | 71260 | 1,09E+05 | -70116 | -51953 | 65798 | 124269 |
| 378 | 70581 | 1,10E+05 | -69289 | -51328 | 64179 | 124113 |
| 379 | 70164 | 1,11E+05 | -68462 | -50555 | 62934 | 124921 |
| 380 | 69992 | 1,12E+05 | -67635 | -49683 | 62187 | 126461 |
| 381 | 66288 | 1,10E+05 | -51150 | -38419 | 56356 | 143215 |
| 382 | 65602 | 1,09E+05 | -50323 | -37381 | 55529 | 142857 |
| 383 | 64992 | 1,09E+05 | -49496 | -36280 | 54845 | 1,43E+05 |
| 384 | 64549 | 1,08E+05 | -48669 | -35127 | 54403 | 143236 |
| 385 | 64209 | 1,08E+05 | -47843 | -33963 | 54114 | 144037 |
| 386 | 55028 | 92807 | -31789 | -20217 | 45997 | 141826 |
| 387 | 53610 | 90548 | -30962 | -18983 | 44737 | 138950 |
| 388 | 52006 | 87885 | -30135 | -17685 | 43372 | 135443 |
| 389 | 50263 | 84845 | -29308 | -16341 | 41973 | 131432 |
| 390 | 48427 | 81549 | -28481 | -15000 | 40552 | 127047 |
| 391 | 74354 | 1,11E+05 | -69721 | -52743 | 70398 | 133258 |
| 392 | 73791 | 1,11E+05 | -68894 | -52234 | 69106 | 133229 |
| 393 | 73155 | 1,12E+05 | -68068 | -51598 | 67558 | 133217 |
| 394 | 72592 | 1,13E+05 | -67241 | -50819 | 66116 | 133558 |
| 395 | 72170 | 1,13E+05 | -66414 | -49956 | 65029 | 134319 |
| 396 | 68060 | 1,12E+05 | -50247 | -38674 | 58486 | 149625 |
| 397 | 67498 | 1,11E+05 | -49420 | -37619 | 57765 | 149714 |
| 398 | 66905 | 1,11E+05 | -48594 | -36489 | 57074 | 149726 |
| 399 | 66318 | 1,10E+05 | -47767 | -35311 | 56462 | 149752 |
| 400 | 65749 | 1,09E+05 | -46940 | -34139 | 55918 | 149798 |
| 401 | 56141 | 94114 | -30579 | -20331 | 47253 | 146598 |
| 402 | 54848 | 92020 | -29752 | -19072 | 46124 | 144168 |
| 403 | 53253 | 89364 | -28926 | -17734 | 44772 | 140729 |
| 404 | 51345 | 86109 | -28099 | -16356 | 43198 | 136197 |
| 405 | 49239 | 82487 | -27272 | -15013 | 41478 | 130919 |

| | | | | | | |
|-----|-------|----------|--------|---------|-------|---------|
| 406 | 72002 | 1,09E+05 | -70943 | -52448 | 67361 | 124852 |
| 407 | 71260 | 1,09E+05 | -70116 | -51953 | 65798 | 124269 |
| 408 | 70581 | 1,10E+05 | -69289 | -51328 | 64179 | 124113 |
| 409 | 70164 | 1,11E+05 | -68462 | -50555 | 62934 | 124921 |
| 410 | 69992 | 1,12E+05 | -67635 | -49683 | 62187 | 126461 |
| 411 | 66288 | 1,10E+05 | -51150 | -38419 | 56356 | 143215 |
| 412 | 65602 | 1,09E+05 | -50323 | -37381 | 55529 | 142857 |
| 413 | 64992 | 1,09E+05 | -49496 | -36280 | 54845 | 142771 |
| 414 | 64549 | 1,08E+05 | -48669 | -35127 | 54403 | 143236 |
| 415 | 64209 | 1,08E+05 | -47843 | -33963 | 54114 | 144037 |
| 416 | 55028 | 92807 | -31789 | -20217 | 45997 | 141826 |
| 417 | 53610 | 90548 | -30962 | -18983 | 44737 | 138950 |
| 418 | 52006 | 87885 | -30135 | -17685 | 43372 | 135443 |
| 419 | 50263 | 84845 | -29308 | -16341 | 41973 | 131432 |
| 420 | 48427 | 81549 | -28481 | -15000 | 40552 | 127047 |
| 421 | 41115 | 82113 | -40010 | -32100 | 27071 | 78189 |
| 422 | 43434 | 81138 | -39184 | -31517 | 31802 | 85673 |
| 423 | 45070 | 79215 | -38357 | -30857 | 35844 | 90915 |
| 424 | 45252 | 76435 | -37530 | -30163 | 37761 | 91755 |
| 425 | 44400 | 73587 | -36703 | -29494 | 37855 | 89645 |
| 426 | 43607 | 68938 | -28436 | -23600 | 39084 | 99593 |
| 427 | 44418 | 69998 | -27609 | -22676 | 39937 | 104068 |
| 428 | 44448 | 70089 | -26782 | -21650 | 39939 | 106044 |
| 429 | 43299 | 68601 | -25955 | -20610 | 38722 | 104057 |
| 430 | 41538 | 66249 | -25128 | -19650 | 36898 | 99907 |
| 431 | 36276 | 57828 | -16526 | -11929 | 32240 | 97889 |
| 432 | 36466 | 57681 | -15699 | -10792 | 32665 | 100321 |
| 433 | 35690 | 56112 | -14872 | -9515 | 32166 | 99581 |
| 434 | 33522 | 52611 | -14046 | -8227,7 | 30265 | 94124,3 |
| 435 | 30596 | 48129 | -13219 | -7079,5 | 27560 | 85986,5 |

SEGUNDA COMBINACIÓN

| Resultados 50% casos | | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------------|-------------------------|---------|-------------|----------|
| Nodos | Axil Humedad | Axil Retracción | Axil Historia de cargas | | Temperatura | Total |
| 361 | 82206 | 82113 | -26674 | -42175 | 28274 | 123744 |
| 362 | 86843 | 81138 | -26122 | -41275 | 34675 | 135259 |
| 363 | 90113 | 79215 | -25571 | -40288 | 40247 | 143716 |
| 364 | 90477 | 76435 | -25020 | -39263 | 43068 | 145697 |
| 365 | 88774 | 73587 | -24469 | -38268 | 43465 | 143089 |
| 366 | 87188 | 68938 | -18957 | -31037 | 45547 | 151679 |
| 367 | 88809 | 69998 | -18406 | -29730 | 46583 | 157254 |
| 368 | 88869 | 70089 | -17855 | -28304 | 46577 | 159376 |
| 369 | 86572 | 68601 | -17303 | -26861 | 45096 | 156105 |
| 370 | 83052 | 66249 | -16752 | -25510 | 42888 | 149927 |
| 371 | 72531 | 57828 | -11017 | -15972 | 37479 | 140849 |
| 372 | 72909 | 57681 | -10466 | -14386 | 38060 | 143798 |
| 373 | 71359 | 56112 | -9915 | -12626 | 37543 | 142473 |
| 374 | 67025 | 52611 | -9363,7 | -10847 | 35343 | 134768,3 |
| 375 | 61174 | 48129 | -8812,5 | -9232,5 | 32163 | 123421 |
| 376 | 1,44E+05 | 1,09E+05 | -47295 | -66820 | 79445 | 218170 |
| 377 | 1,42E+05 | 1,09E+05 | -46744 | -66052 | 77323 | 216287 |
| 378 | 1,41E+05 | 1,10E+05 | -46193 | -65138 | 75098 | 214857 |
| 379 | 1,40E+05 | 1,11E+05 | -45642 | -64046 | 73357 | 214799 |
| 380 | 1,40E+05 | 1,12E+05 | -45090 | -62832 | 72288 | 215906 |
| 381 | 1,33E+05 | 1,10E+05 | -34100 | -49261 | 64651 | 223970 |
| 382 | 1,31E+05 | 1,09E+05 | -33549 | -47848 | 63617 | 222810 |
| 383 | 1,30E+05 | 1,09E+05 | -32998 | -46363 | 62774 | 2,22E+05 |
| 384 | 1,29E+05 | 1,08E+05 | -32446 | -44813 | 62244 | 222125 |
| 385 | 1,28E+05 | 1,08E+05 | -31895 | -43241 | 61913 | 222677 |
| 386 | 1,10E+05 | 92807 | -21193 | -26532 | 52490 | 207592 |
| 387 | 1,07E+05 | 90548 | -20641 | -24859 | 51026 | 203264 |
| 388 | 1,04E+05 | 87885 | -20090 | -23105 | 49459 | 198129 |
| 389 | 1,01E+05 | 84845 | -19539 | -21279 | 47883 | 192410 |
| 390 | 96825 | 81549 | -18988 | -19439 | 46302 | 186249 |
| 391 | 1,49E+05 | 1,11E+05 | -46481 | -67173 | 83295 | 229271 |
| 392 | 1,48E+05 | 1,11E+05 | -45930 | -66387 | 81527 | 228210 |
| 393 | 1,46E+05 | 1,12E+05 | -45378 | -65459 | 79395 | 226998 |
| 394 | 1,45E+05 | 1,13E+05 | -44827 | -64361 | 77401 | 226263 |
| 395 | 1,44E+05 | 1,13E+05 | -44276 | -63158 | 75897 | 226253 |
| 396 | 1,36E+05 | 1,12E+05 | -33498 | -49564 | 67316 | 232334 |
| 397 | 1,35E+05 | 1,11E+05 | -32947 | -48131 | 66402 | 231774 |
| 398 | 1,34E+05 | 1,11E+05 | -32396 | -46611 | 65544 | 231137 |
| 399 | 1,33E+05 | 1,10E+05 | -31844 | -45031 | 64802 | 230577 |
| 400 | 1,31E+05 | 1,09E+05 | -31293 | -43450 | 64156 | 230083 |
| 401 | 1,12E+05 | 94114 | -20386 | -26665 | 54041 | 213354 |
| 402 | 1,10E+05 | 92020 | -19835 | -24962 | 52735 | 209618 |
| 403 | 1,06E+05 | 89364 | -19284 | -23157 | 51185 | 204578 |
| 404 | 1,03E+05 | 86109 | -18732 | -21290 | 49397 | 198144 |
| 405 | 98449 | 82487 | -18181 | -19450 | 47448 | 190753 |

| | | | | | | |
|-----|----------|----------|---------|---------|-------|----------|
| 406 | 1,44E+05 | 1,09E+05 | -47295 | -66820 | 79445 | 218170 |
| 407 | 1,42E+05 | 1,09E+05 | -46744 | -66052 | 77323 | 216287 |
| 408 | 1,41E+05 | 1,10E+05 | -46193 | -65138 | 75098 | 214857 |
| 409 | 1,40E+05 | 1,11E+05 | -45642 | -64046 | 73357 | 214799 |
| 410 | 1,40E+05 | 1,12E+05 | -45090 | -62832 | 72288 | 215906 |
| 411 | 1,33E+05 | 1,10E+05 | -34100 | -49261 | 64651 | 223970 |
| 412 | 1,31E+05 | 1,09E+05 | -33549 | -47848 | 63617 | 222810 |
| 413 | 1,30E+05 | 1,09E+05 | -32998 | -46363 | 62774 | 222063 |
| 414 | 1,29E+05 | 1,08E+05 | -32446 | -44813 | 62244 | 222125 |
| 415 | 1,28E+05 | 1,08E+05 | -31895 | -43241 | 61913 | 222677 |
| 416 | 1,10E+05 | 92807 | -21193 | -26532 | 52490 | 207592 |
| 417 | 1,07E+05 | 90548 | -20641 | -24859 | 51026 | 203264 |
| 418 | 1,04E+05 | 87885 | -20090 | -23105 | 49459 | 198129 |
| 419 | 1,01E+05 | 84845 | -19539 | -21279 | 47883 | 192410 |
| 420 | 96825 | 81549 | -18988 | -19439 | 46302 | 186249 |
| 421 | 82206 | 82113 | -26674 | -42175 | 28274 | 123744 |
| 422 | 86843 | 81138 | -26122 | -41275 | 34675 | 135259 |
| 423 | 90113 | 79215 | -25571 | -40288 | 40247 | 143716 |
| 424 | 90477 | 76435 | -25020 | -39263 | 43068 | 145697 |
| 425 | 88774 | 73587 | -24469 | -38268 | 43465 | 143089 |
| 426 | 87188 | 68938 | -18957 | -31037 | 45547 | 151679 |
| 427 | 88809 | 69998 | -18406 | -29730 | 46583 | 157254 |
| 428 | 88869 | 70089 | -17855 | -28304 | 46577 | 159376 |
| 429 | 86572 | 68601 | -17303 | -26861 | 45096 | 156105 |
| 430 | 83052 | 66249 | -16752 | -25510 | 42888 | 149927 |
| 431 | 72531 | 57828 | -11017 | -15972 | 37479 | 140849 |
| 432 | 72909 | 57681 | -10466 | -14386 | 38060 | 143798 |
| 433 | 71359 | 56112 | -9915 | -12626 | 37543 | 142473 |
| 434 | 67025 | 52611 | -9363,7 | -10847 | 35343 | 134768,3 |
| 435 | 61174 | 48129 | -8812,5 | -9232,5 | 32163 | 123421 |

TERCERA COMBINACIÓN

| Resultados 95% casos | | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------------|-------------------------|--------|-------------|----------|
| Nodos | Axil Humedad | Axil Retracción | Axil Historia de cargas | | Temperatura | Total |
| 361 | 1,23E+05 | 82113 | -13337 | -52250 | 29477 | 169323 |
| 362 | 1,30E+05 | 81138 | -13061 | -51033 | 37549 | 184873 |
| 363 | 1,35E+05 | 79215 | -12786 | -49719 | 44651 | 196541 |
| 364 | 1,36E+05 | 76435 | -12510 | -48364 | 48376 | 199667 |
| 365 | 1,33E+05 | 73587 | -12234 | -47043 | 49075 | 196555 |
| 366 | 1,31E+05 | 68938 | -9478,5 | -38474 | 52009 | 203794,5 |
| 367 | 1,33E+05 | 69998 | -9202,9 | -36784 | 53229 | 210470,1 |
| 368 | 1,33E+05 | 70089 | -8927,3 | -34958 | 53215 | 212738,7 |
| 369 | 1,30E+05 | 68601 | -8651,7 | -33112 | 51470 | 208177,3 |
| 370 | 1,25E+05 | 66249 | -8376 | -31370 | 48878 | 199971 |
| 371 | 1,09E+05 | 57828 | -5508,7 | -20016 | 42718 | 183831,3 |
| 372 | 1,09E+05 | 57681 | -5233,1 | -17981 | 43454 | 187300,9 |
| 373 | 1,07E+05 | 56112 | -4957,5 | -15737 | 42921 | 185388,5 |
| 374 | 1,01E+05 | 52611 | -4681,9 | -13465 | 40421 | 175435,1 |
| 375 | 91770 | 48129 | -4406,2 | -11385 | 36766 | 160873,8 |
| 376 | 2,16E+05 | 1,09E+05 | -23648 | -81192 | 91529 | 311529 |
| 377 | 2,14E+05 | 1,09E+05 | -23372 | -80151 | 88848 | 308345 |
| 378 | 2,12E+05 | 1,10E+05 | -23096 | -78947 | 86017 | 305644 |
| 379 | 2,10E+05 | 1,11E+05 | -22821 | -77538 | 83779 | 304710 |
| 380 | 2,10E+05 | 1,12E+05 | -22545 | -75982 | 82388 | 305391 |
| 381 | 1,99E+05 | 1,10E+05 | -17050 | -60103 | 72946 | 304763 |
| 382 | 1,97E+05 | 1,09E+05 | -16774 | -58315 | 71705 | 302816 |
| 383 | 1,95E+05 | 1,09E+05 | -16499 | -56447 | 70702 | 3,01E+05 |
| 384 | 1,94E+05 | 1,08E+05 | -16223 | -54500 | 70085 | 301052 |
| 385 | 1,93E+05 | 1,08E+05 | -15948 | -52519 | 69711 | 301354 |
| 386 | 1,65E+05 | 92807 | -10596 | -32847 | 58984 | 273398 |
| 387 | 1,61E+05 | 90548 | -10321 | -30736 | 57315 | 267606 |
| 388 | 1,56E+05 | 87885 | -10045 | -28525 | 55546 | 260851 |
| 389 | 1,51E+05 | 84845 | -9769,4 | -26217 | 53794 | 253412,6 |
| 390 | 1,45E+05 | 81549 | -9493,8 | -23877 | 52053 | 245481,2 |
| 391 | 2,23E+05 | 1,11E+05 | -23240 | -81602 | 96191 | 325339 |
| 392 | 2,21E+05 | 1,11E+05 | -22965 | -80541 | 93947 | 323231 |
| 393 | 2,19E+05 | 1,12E+05 | -22689 | -79319 | 91232 | 320814 |
| 394 | 2,18E+05 | 1,13E+05 | -22414 | -77904 | 88686 | 319008 |
| 395 | 2,16E+05 | 1,13E+05 | -22138 | -76360 | 86765 | 318227 |
| 396 | 2,04E+05 | 1,12E+05 | -16749 | -60455 | 76145 | 315081 |
| 397 | 2,02E+05 | 1,11E+05 | -16473 | -58642 | 75039 | 313864 |
| 398 | 2,01E+05 | 1,11E+05 | -16198 | -56733 | 74013 | 312582 |
| 399 | 1,99E+05 | 1,10E+05 | -15922 | -54750 | 73141 | 311429 |
| 400 | 1,97E+05 | 1,09E+05 | -15647 | -52760 | 72393 | 310406 |
| 401 | 1,68E+05 | 94114 | -10193 | -32999 | 60829 | 280141 |
| 402 | 1,65E+05 | 92020 | -9917,5 | -30852 | 59346 | 275106,5 |
| 403 | 1,60E+05 | 89364 | -9641,9 | -28581 | 57598 | 268469,1 |
| 404 | 1,54E+05 | 86109 | -9366,2 | -26225 | 55595 | 260122,8 |
| 405 | 1,48E+05 | 82487 | -9090,6 | -23887 | 53418 | 250617,4 |

| | | | | | | |
|-----|----------|----------|---------|--------|-------|----------|
| 406 | 2,16E+05 | 1,09E+05 | -23648 | -81192 | 91529 | 311529 |
| 407 | 2,14E+05 | 1,09E+05 | -23372 | -80151 | 88848 | 308345 |
| 408 | 2,12E+05 | 1,10E+05 | -23096 | -78947 | 86017 | 305644 |
| 409 | 2,10E+05 | 1,11E+05 | -22821 | -77538 | 83779 | 304710 |
| 410 | 2,10E+05 | 1,12E+05 | -22545 | -75982 | 82388 | 305391 |
| 411 | 1,99E+05 | 1,10E+05 | -17050 | -60103 | 72946 | 304763 |
| 412 | 1,97E+05 | 1,09E+05 | -16774 | -58315 | 71705 | 302816 |
| 413 | 1,95E+05 | 1,09E+05 | -16499 | -56447 | 70702 | 301406 |
| 414 | 1,94E+05 | 1,08E+05 | -16223 | -54500 | 70085 | 301052 |
| 415 | 1,93E+05 | 1,08E+05 | -15948 | -52519 | 69711 | 301354 |
| 416 | 1,65E+05 | 92807 | -10596 | -32847 | 58984 | 273398 |
| 417 | 1,61E+05 | 90548 | -10321 | -30736 | 57315 | 267606 |
| 418 | 1,56E+05 | 87885 | -10045 | -28525 | 55546 | 260851 |
| 419 | 1,51E+05 | 84845 | -9769,4 | -26217 | 53794 | 253412,6 |
| 420 | 1,45E+05 | 81549 | -9493,8 | -23877 | 52053 | 245481,2 |
| 421 | 1,23E+05 | 82113 | -13337 | -52250 | 29477 | 169323 |
| 422 | 1,30E+05 | 81138 | -13061 | -51033 | 37549 | 184873 |
| 423 | 1,35E+05 | 79215 | -12786 | -49719 | 44651 | 196541 |
| 424 | 1,36E+05 | 76435 | -12510 | -48364 | 48376 | 199667 |
| 425 | 1,33E+05 | 73587 | -12234 | -47043 | 49075 | 196555 |
| 426 | 1,31E+05 | 68938 | -9478,5 | -38474 | 52009 | 203794,5 |
| 427 | 1,33E+05 | 69998 | -9202,9 | -36784 | 53229 | 210470,1 |
| 428 | 1,33E+05 | 70089 | -8927,3 | -34958 | 53215 | 212738,7 |
| 429 | 1,30E+05 | 68601 | -8651,7 | -33112 | 51470 | 208177,3 |
| 430 | 1,25E+05 | 66249 | -8376 | -31370 | 48878 | 199971 |
| 431 | 1,09E+05 | 57828 | -5508,7 | -20016 | 42718 | 183831,3 |
| 432 | 1,09E+05 | 57681 | -5233,1 | -17981 | 43454 | 187300,9 |
| 433 | 1,07E+05 | 56112 | -4957,5 | -15737 | 42921 | 185388,5 |
| 434 | 1,01E+05 | 52611 | -4681,9 | -13465 | 40421 | 175435,1 |
| 435 | 91770 | 48129 | -4406,2 | -11385 | 36766 | 160873,8 |

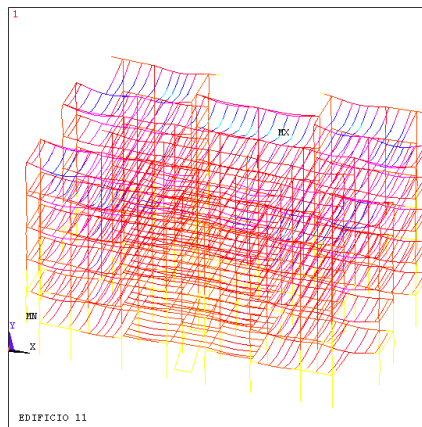
RESULTADOS DEL EDIFICIO DE LA BARRIADA DE SAN FERNANDO

CARGAS INTRODUCIDAS

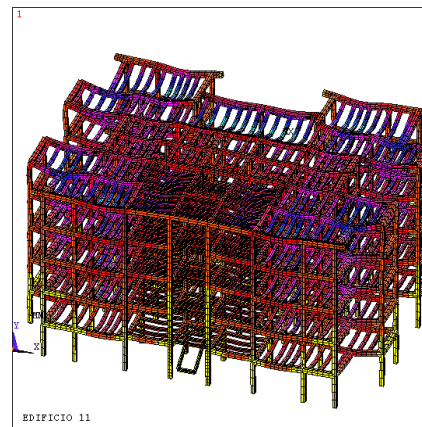
| Cargas introducidas | | | |
|---|------|-------------------------------|-----|
| Cargas permanentes | | Cargas permanentes cubierta | |
| Viga 7 y 6 | 0,7 | Viga 7 y 6 | 2,2 |
| Viga 5 | 2 | Viga 5 y 4 Y 4 bis | 0 |
| Viga 4 en 1ª | 3,1 | Viga 19 y 32 inicial | 2,2 |
| Viga 4 intermedia sin escalera | 0 | Viga 18,17 y 19 final | 1,4 |
| Viga 4 bis en 1ª sin escalera | 0,7 | Viga 32 final y 31 | 1,4 |
| Viga 19 | 0,7 | Viga 30 y 29 | 0,7 |
| Viga 18 | 1,4 | Viga 41, 40 y 39 | 1,4 |
| Viga 32 | 0,7 | Viga 52 y 58 inicial | 2,2 |
| Viga 31 | 1,4 | Viga 52 final y 51 | 1,4 |
| Viga 30 | 0,7 | Viga 50 y 49 | 1,4 |
| Viga 29 sin escalera | 1,05 | Viga 58 final,60 y 61 | 1,4 |
| Viga 41,40 | 1,4 | Viga 59 inicial | 1,4 |
| Viga 39 | 2,1 | Viga 59 final | 2,2 |
| Viga 52 y 58 | 0,7 | Vigas 69 y 70 | 2,2 |
| Viga 51 | 1,4 | Voladizo de la viga 70 | 2,2 |
| Viga 50 | 1,4 | Viga 8,20,33,42,53,68,63 y 67 | 0 |
| Viga 49 | 1,75 | Viga 9 y 21 | 0,7 |
| Viga 61 y 60 | 1,4 | viga 10 y 22 | 1,4 |
| Viga 59 | 0,7 | | |
| Viga 59 sobrecarga parcial | 2 | | |
| Viga 69 y 70 | 0,7 | | |
| Viga 8,20,53,68,67 | 0 | | |
| Vigas 9 y 10, tramo final y vigas 21 y 22 | 0,7 | | |

| DENSIDADES DE LOS ELEMENTOS | |
|------------------------------------|------------|
| ELEMENTO | DENSIDAD |
| HORMIGÓN ESTRUCTURA | 2400 kg/m3 |
| HORMIGÓN LOSA DE ESCALERA | 4000 kg/m3 |
| ELEMENTOS EQUIVALENTES DEL FORJADO | 1098 kg/m3 |
| FÁBRICA DE LADRILLO HUECO TRIPLE | 735 kg/m3 |
| FÁBRICA DE LADRILLO HUECO DOBLE | 775 kg/m3 |

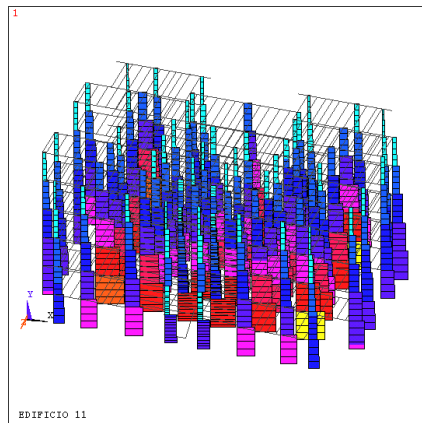
MODELO ESTRUCTURA DEL EDIFICIO



ANSYS 12.0.1
OCT 31 2012
10:37:05
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.00538
SMX =.00538



ANSYS 12.0.1
OCT 31 2012
10:37:40
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.005398
SMX =.005398

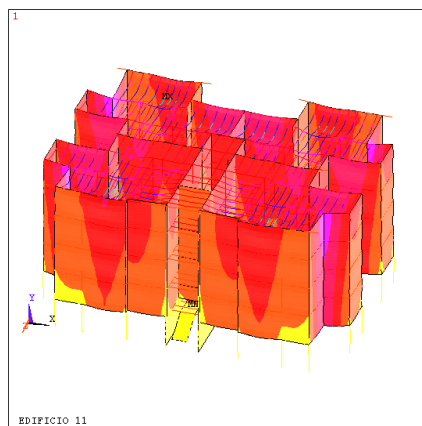


ANSYS 12.0.1
OCT 31 2012
10:40:20
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
FX I FX J
MIN =-417135
ELDM=15477
MAX =-27133
ELDM=15431

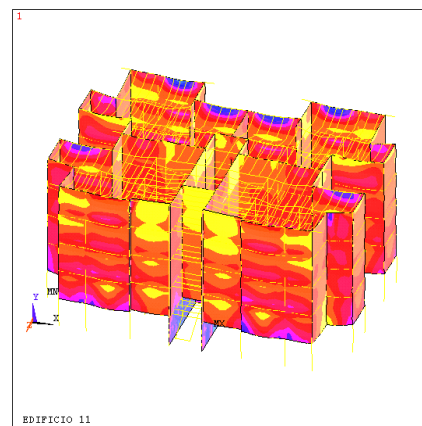


ANSYS 12.0.1
OCT 31 2012
10:40:20
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
FX I FX J
MIN =-417135
ELDM=15477
MAX =-27133
ELDM=15431

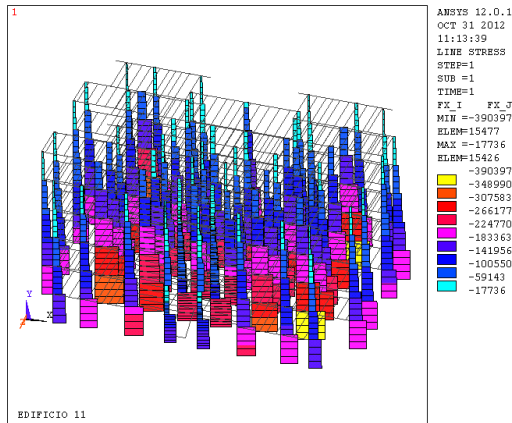
MODELO ESTRUCTURA Y CERRAMIENTOS DEL EDIFICIO



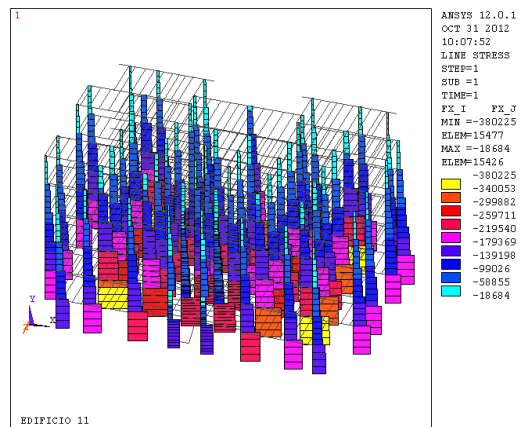
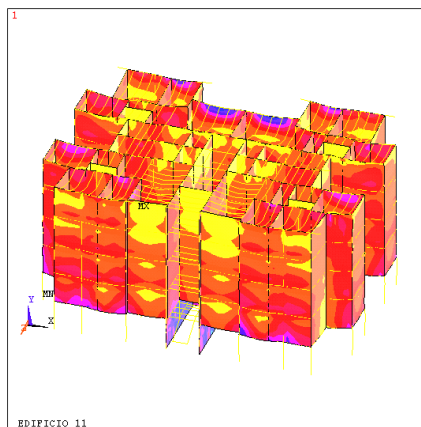
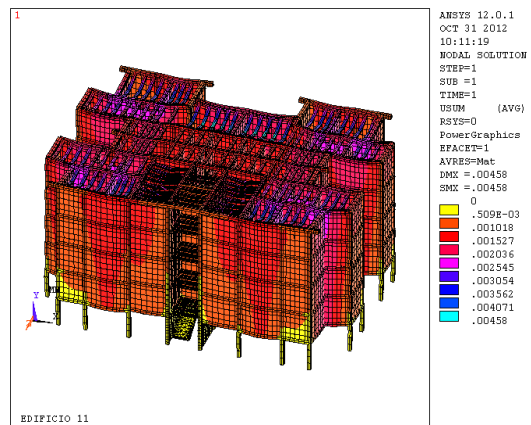
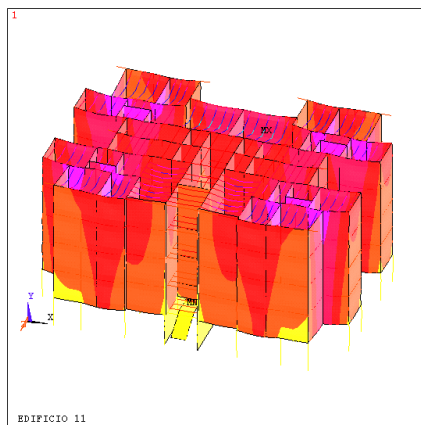
ANSYS 12.0.1
OCT 31 2012
11:07:19
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.004758
SMX =.004758



ANSYS 12.0.1
OCT 31 2012
11:08:27
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.004758
SMX =.004758



MODELO ESTRUCTURA, CERRAMIENTOS Y TABIQUERÍA DEL EDIFICIO

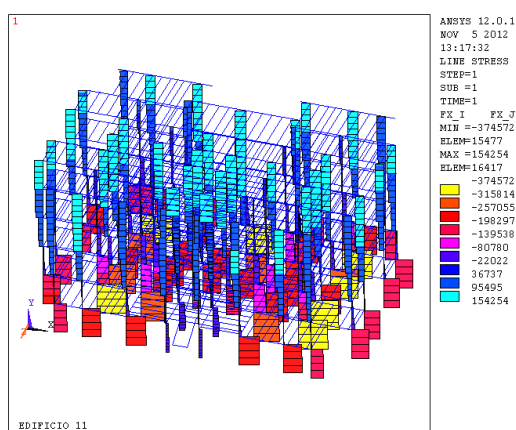
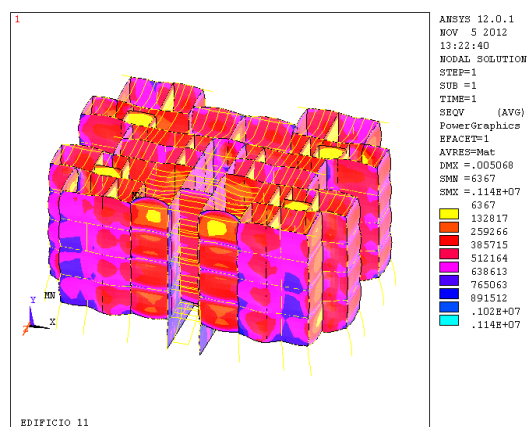
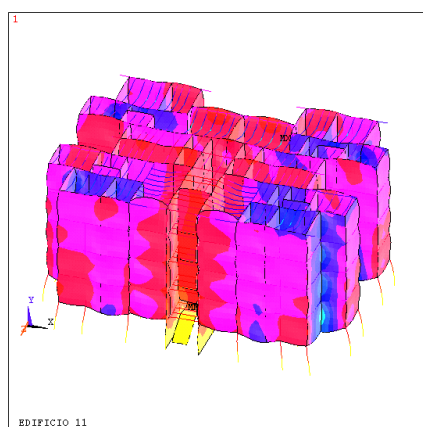


RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

| Primer forjado | Estructura | Estructura+Cerramientos | Estructura+Cerramientos+Tabiquería |
|----------------|------------|-------------------------|------------------------------------|
| 15362 | -114350 | -116940 | -115850 |
| 15498 | -171660 | -144110 | -144120 |
| 15818 | -193960 | -165780 | -163010 |
| 16476 | -66595 | -61946 | -62098 |
| 16457 | -66639 | -62720 | -62888 |
| 15813 | -192530 | -163720 | -161570 |
| 15493 | -170640 | -143760 | -144200 |
| 15357 | -118030 | -119440 | -118490 |
| 15181 | -167600 | -152580 | -148440 |
| 15503 | -307820 | -280290 | -236150 |
| 15823 | -249270 | -243570 | -211180 |
| 16249 | -139510 | -113620 | -112820 |
| 16257 | -138720 | -113260 | -112670 |
| 15828 | -260780 | -255160 | -219370 |
| 15508 | -313670 | -286090 | -239100 |
| 15186 | -1,67E+05 | -153190 | -149020 |
| 15196 | -149780 | -139990 | -139640 |
| 15518 | -250910 | -209470 | -193850 |
| 15838 | -201910 | -196700 | -171910 |
| 16270 | -226130 | -189470 | -180210 |
| 16265 | -222720 | -184790 | -176910 |
| 15833 | -223080 | -217300 | -188200 |
| 15513 | -258890 | -216950 | -199810 |
| 15191 | -150460 | -139970 | -139900 |
| 15523 | -179630 | -154430 | -153510 |
| 15843 | -189230 | -162600 | -159640 |
| 16275 | -171280 | -145790 | -143040 |
| 16280 | -171330 | -146910 | -144350 |
| 15848 | -207020 | -176700 | -173790 |
| 15528 | -183100 | -157080 | -156540 |
| 15206 | -148860 | -138490 | -138380 |
| 15538 | -249500 | -209340 | -194090 |
| 15858 | -194290 | -190910 | -166260 |
| 16290 | -210910 | -179200 | -166770 |
| 16285 | -210800 | -177940 | -166960 |
| 15853 | -226060 | -222010 | -190630 |
| 15533 | -256870 | -214930 | -198100 |
| 15201 | -149100 | -139090 | -139030 |
| 15211 | -173290 | -156870 | -153520 |
| 15543 | -341780 | -312810 | -257520 |
| 16037 | -144890 | -137240 | -132470 |
| 16042 | -164520 | -154150 | -146900 |
| 15548 | -316500 | -289050 | -239830 |
| 15216 | -166930 | -151640 | -148250 |
| 16052 | -154390 | -136080 | -133220 |
| 16501 | -273050 | -215900 | -215990 |

| | | | |
|-------|------------------|-------------------|--------------------|
| 16047 | -159990 | -141050 | -137440 |
| 15367 | -115650 | -118510 | -117680 |
| 15553 | -176240 | -146250 | -146840 |
| 16057 | -129630 | -118530 | -119750 |
| 16062 | -127790 | -117950 | -119290 |
| 15558 | -174830 | -144650 | -145610 |
| 15372 | -116240 | -117890 | -117150 |
| | -10006614 | -8944806 | -8413956 |
| | | 10,6110618 | 15,91605312 |

MODELO ESTRUCTURA, CERRAMIENTOS Y TABIQUERÍA CON EFECTOS EXTERNOS



ANEXO II

CATÁLOGOS DE FABRICANTE E INFORMACIÓN ADICIONAL

INFORMACIÓN SOBRE LOS LADRILLOS UTILIZADOS EN EL MODELO

| CARACTERIZACIÓN MECÁNICA LADRILLO MACIZO PERFORADO | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| PARÁMETROS | VALORES VERTICALES | | VALORES HORIZONTALES | |
| | MAX | MIN | MAX | MIN |
| K | 0,55 | | | |
| FB | 10 N/mm ² | | | |
| FM | 7,5 N/mm ² | | | |
| FK | 4,065631 N/mm ² | | 0,609845 N/mm ² | 3,252505 N/mm ² |
| EY | 813,1263 N/mm ² | 8131,263 N/mm ² | | |
| Ex | | | 121,9689 N/mm ² | 6505,01 N/mm ² |
| FTK | 0,121969 N/mm ² | 0,365907 N/mm ² | 0,018295 N/mm ² | 0,292725 N/mm ² |
| Gxz | 48,78758 N/mm ² | 3252,505 N/mm ² | | |
| GYZ | | | 7,318137 N/mm ² | 2602,004 N/mm ² |
| EY MEDIO | 4065,631 N/mm ² | | | |
| Ex MEDIO | | | 3252,505 N/mm ² | |
| Gxz MEDIO | 487,8758 N/mm ² | | | |
| GYZ MEDIO | | | 231,741 N/mm ² | |

| CARACTERIZACIÓN MECÁNICA LADRILLO HUECO TRIPLE | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| PARÁMETROS | VALORES VERTICALES | | VALORES HORIZONTALES | |
| | MAX | MIN | MAX | MIN |
| K | 0,4 | | | |
| FB | 3,7 N/mm ² | | | |
| FM | 2,5 N/mm ² | | | |
| FK | 1,17727 N/mm ² | | 0,176591 N/mm ² | 0,941816 N/mm ² |
| EY | 235,454 N/mm ² | 2354,54 N/mm ² | | |
| Ex | | | 35,3181 N/mm ² | 1883,632 N/mm ² |
| FTK | 0,035318 N/mm ² | 0,105954 N/mm ² | 0,005298 N/mm ² | 0,084763 N/mm ² |
| Gxz | 14,12724 N/mm ² | 941,8161 N/mm ² | | |
| GYZ | | | 2,119086 N/mm ² | 753,4529 N/mm ² |
| EY MEDIO | 1177,27 N/mm ² | | | |
| Ex MEDIO | | | 941,8161 N/mm ² | |
| Gxz MEDIO | 141,2724 N/mm ² | | | |
| GYZ MEDIO | | | 67,1044 N/mm ² | |

| CARACTERIZACIÓN MECÁNICA LADRILLO HUECO DOBLE | | | | |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| PARÁMETROS | VALORES VERTICALES | | VALORES HORIZONTALES | |
| | MAX | MIN | MAX | MIN |
| K | 0,4 | | | |
| FB | 5 N/mm ² | | | |
| FM | 2,5 N/mm ² | | | |
| FK | 1,431777 N/mm ² | | 0,214767 N/mm ² | 1,145422 N/mm ² |
| EY | 286,3555 N/mm ² | 2863,555 N/mm ² | | |
| EX | | | 42,95332 N/mm ² | 2290,844 N/mm ² |
| FTK | 0,042953 N/mm ² | 0,12886 N/mm ² | 0,006443 N/mm ² | 0,103088 N/mm ² |
| Gxz | 17,18133 N/mm ² | 1145,422 N/mm ² | | |
| Gyz | | | 2,577199 N/mm ² | 916,3375 N/mm ² |
| EY MEDIO | 1431,777 N/mm ² | | | |
| EX MEDIO | | | 1145,422 N/mm ² | |
| Gxz MEDIO | 171,8133 N/mm ² | | | |
| Gyz MEDIO | | | 81,61131 N/mm ² | |

| PARÁMETROS |
|---|
| K: FACTOR SEGÚN EL TIPO DE LADRILLO |
| FB: RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL LADRILLO |
| FM: RESISTENCIA DEL MORTERO |
| FK: RESISTENCIA DEL PAÑO DE FÁBRICA |
| FTK: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN |



Designación comercial:

Tosco de 10



Cesan, S.L.

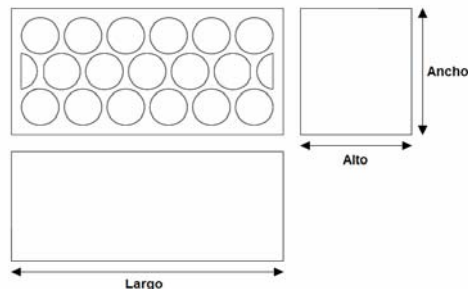
CORRESPONDENCIA:
C/ Sancho Panza, 11
45240 Alameda de la Sagra (Toledo)

FÁBRICAS Y OFICINAS:
Pantoja (Toledo)
Tel: 925 55 40 26 Fax: 925 55 41 31
www.cesan.es
cesan@cesan.es

UNE-EN 771-1

Ladrillo de arcilla cocida con perforación vertical, no visto, categoría II, tipo LD.
Dimensiones (245x109x98) mm.
Para uso en muros resistentes.

Clasificación según EN 1996-1-1, Grupo 2b – Uso Estructural.



Configuración: Véase dibujo acotado de la pieza.

Dimensiones y tolerancias:

| | |
|--------|---------|
| Largo: | 245 mm. |
| Ancho: | 109 mm. |
| Alto: | 98 mm. |

Tolerancias valor medio: Categoría Tm:

| | |
|--------------------|------------------|
| Longitud y Anchura | Tm = ± 7 mm. |
| Altura: | Tm = ± 5 mm. |

Recorrido: Categoría R1

Planeidad de las caras: No destinado a ser empleado con junta fina de mortero.

Paralelismo de las caras: No destinado a ser empleado con junta fina de mortero.

Porcentaje de huecos: $\leq 55\%$.

Espesor de paredes exteriores: ≥ 5 mm. Espesor de paredes interiores: ≥ 3 mm.

Resistencia a compresión: Categoría II. Esfuerzo a compresión perpendicular a tabla. Refrentado por mortero.

Resistencia media a compresión: ≥ 10 N/mm².

Los valores individuales de resistencia a compresión de las piezas ensayadas son mayores del 80 % del valor declarado.

Densidad: Categoría Dm = 15%

Absoluta: 1.930 kg/m³.

Aparente: 845 kg/m³.

Contenido en sales solubles activas:

Categoría S0 (NPD).

Reacción al fuego: Sin necesidad de ensayo.

Euroclase A1 (Contenido en materia orgánica $\leq 1\%$ en masa o volumen distribuido de forma homogénea)

Absorción de agua: No destinado a ser expuesto (no se empleará sin revestimiento).

Permeabilidad al vapor de agua:

Coefficiente de difusión de vapor de agua: $\mu = 5/10$. Tabulado según EN 1745.

Propiedades térmicas: Valor tabulado.

Resistencia térmica: 0,615 m²K/W.

Adherencia: Resistencia característica inicial a cortante: 0,15 N/mm². (UNE-EN 998-2)

Durabilidad: Resistencia al hielo / deshielo: F0 (No destinado a ser expuesto).



Firmado: Cesan, S.L. (03/12/07)

Otras denominaciones para designar el producto:

- "Cerámico", "Macizo", "Perforado", "Panal" de 10.
- Laboratorio: "LPNV de 10" (Ladrillo paletizado no visto de 10 cm.).
- Albaranes y facturas: "C10P" (Cerámico de 10 paletizado).



Designación comercial:
Hueco Triple



Cesan, S.L.

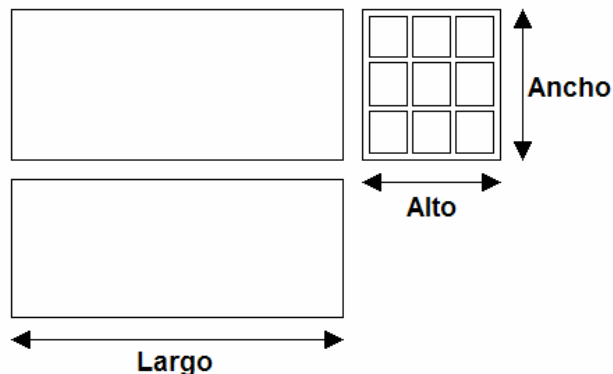
CORRESPONDENCIA:
C/ Sancho Panza, 11
45240 Alameda de la Sagra (Toledo)

FÁBRICAS Y OFICINAS:
Pantoja (Toledo)
Tel: 925 55 40 26 Fax: 925 55 41 31
www.cesan.es
cesan@cesan.es

UNE-EN 771-1

Ladrillo hueco de arcilla cocida, con perforación horizontal, no visto, categoría II, tipo LD.
Dimensiones (250x108x104) mm.
Para uso en fábricas no resistentes.

Clasificación según EN 1996-1-1, Grupo 3 – Uso no estructural.



Configuración: Véase dibujo acotado de la pieza.

Dimensiones y tolerancias:

| | |
|--------|---------|
| Largo: | 250 mm. |
| Ancho: | 108 mm. |
| Alto: | 104 mm. |

Tolerancias valor medio: Categoría Tm:

| | |
|---------------------|------------------|
| Longitud y Anchura: | Tm = ± 7 mm. |
| Altura: | Tm = ± 5 mm. |

Recorrido: Categoría R1

Planeidad de las caras: Diagonales en Tabla y Canto: ≤ 5 mm.

Resistencia a compresión: Categoría II. Esfuerzo a compresión perpendicular a tabla. Refrentado por mortero.
Valor medio normalizado: 3,7 N/mm².

Los valores individuales de resistencia a compresión de las piezas ensayadas son mayores del 80 % del valor declarado.

Densidad: Categoría Dm = 15%

Absoluta: 1.940 kg/m³.

Aparente: 735 kg/m³.

Estabilidad dimensional:

Expansión por humedad: NPD.

Contenido en sales solubles activas:

Categoría S0 (NPD).

Reacción al fuego: Sin necesidad de ensayo.

Euroclase A1 (Contenido en materia orgánica $\leq 1\%$ en masa o volumen distribuido de forma homogénea)

Absorción de agua: No destinado a ser expuesto (no se empleará sin revestimiento).

Propiedades térmicas: Valor tabulado.

Resistencia térmica: 0,31 m²K/W

Durabilidad: Resistencia al hielo / deshielo: F0 (No destinado a ser expuesto).



Firmado: Cesan, S.L. (03/12/07)

Otras denominaciones para designar el producto:

- Laboratorio: "LHT" (ladrillo hueco triple).
- Albaranes y facturas: "HTP" (hueco triple paletizado).
- Hueco triple tradicional.



Designación comercial:
Hueco Doble



Cesan, S.L.

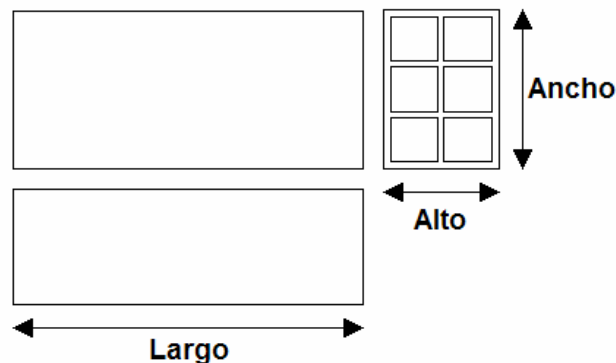
CORRESPONDENCIA:
C/ Sancho Panza, 11
45240 Alameda de la Sagra (Toledo)

FÁBRICAS Y OFICINAS:
Pantoja (Toledo)
Tel: 925 55 40 26 Fax: 925 55 41 31
www.cesan.es
cesan@cesan.es

UNE-EN 771-1

Ladrillo hueco de arcilla cocida, con perforación horizontal, no visto, categoría II, tipo LD.
Dimensiones (247x110x73) mm.
Para uso en fábricas no resistentes.

Clasificación según EN 1996-1-1, Grupo 3 – Uso no estructural.



Configuración: Véase dibujo acotado de la pieza.

Dimensiones y tolerancias:

| | |
|--------|---------|
| Largo: | 247 mm. |
| Ancho: | 110 mm. |
| Alto: | 73 mm. |

Tolerancias valor medio: Categoría Tm:

| | |
|---------------------|--------------|
| Longitud y Anchura: | Tm = ± 7 mm. |
| Altura: | Tm = ± 5 mm. |

Recorrido: Categoría R1

Planeidad de las caras: Diagonales en Tabla y Canto: ≤ 5 mm.

Resistencia a compresión: Categoría II. Esfuerzo a compresión perpendicular a tabla. Refrentado por mortero.

Valor medio normalizado: 5 N/mm².

Los valores individuales de resistencia a compresión de las piezas ensayadas son mayores del 80 % del valor declarado.

Densidad: Categoría Dm = 15%

Absoluta: 1.930 kg/m³.

Aparente: 775 kg/m³.

Estabilidad dimensional:

Expansión por humedad: NPD.

Contenido en sales solubles activas:

Categoría S0 (NPD).

Reacción al fuego: Sin necesidad de ensayo.

Euroclase A1 (Contenido en materia orgánica ≤ 1% en masa o volumen distribuido de forma homogénea)

Absorción de agua: No destinado a ser expuesto (no se empleará sin revestimiento).

Propiedades térmicas: Valor tabulado.

Resistencia térmica: 0,31 m²K/W

Durabilidad: Resistencia al hielo / deshielo: F0 (No destinado a ser expuesto).


Joaquín María López, 36
28015 MADRID
Firmado: Cesan, S.L. (03/12/07)

Otras denominaciones para designar el producto:

- Laboratorio: "LHD" (ladrillo hueco doble).
- Albaranes y facturas: "HDP" (hueco doble paletizado).
- Hueco doble tradicional.

En este apartado del Anexo II se recoge un catálogo comercial de soluciones constructivas. Contactamos con Adrian Page a través de correo electrónico.

Dear Prof. Adrian Page

I'm researcher with Department of Building and Precasting at the School of Civil Engineering, Polytechnic University of Madrid, Spain. Our research focus is on develop strengthening techniques for masonry infill walls for prevent out-of-plane collapse.

Recent earthquake in Spain (Lorca 2011), the masonry infill walls, considered as "non-structural elements" had severe influence on overall response of structures which had not been taken into account in design. Furthermore, proper anchorage was not provided. Hence, the high seismic vulnerability led to investigation on development of retrofit techniques for improve stability of non-structural elements.

Having looked up several codes and scientific literature, it seems that a sufficient separation at top and ends of wall mitigates the damage and effects of infill-frame interaction. Nevertheless, no specifics techniques have been found to proper anchorage in order to prevent out-of-plane mechanism. On the other hand, the aforementioned separation can led to other problems including appearance, acoustic and thermal isolation.

The University of Newcastle (Australia) has huge experience in this subject. Perhaps you would be so kind as to recommend us literature about it.

Thank you very much in advance. I remain, yours faithfully,

School of Civil Engineering.

Polytechnic University of Madrid.

Dear Dr Lopez

You have described a problem which is very significant for seismic performance and one which is often ignored until after a seismic event.

In Australia it is common practice to deliberately separate the infill from the surrounding frame, not for earthquake design reasons, but to accommodate in-plane wall movements due to brick growth and concrete shrinkage (long term brick moisture expansion is considerable for our materials). These details of course also provide separation for earthquake purposes by default.

There are a range of propriety products available for this purpose - I have attached copies of some typical ties which are commercially available - these are designed to allow for in-plane wall movement and to also provide lateral support for the wall.

I will also pass your email on to my colleague (Dr Yuri Totoev) who is carrying out research into the area of confined infill frames, and he may be able to provide you with some additional information.

You may also find it useful to contact Dr Jason Ingham at the University of Auckland in New Zealand who has a lot of experience in this area, particularly after the recent Christchurch earthquakes

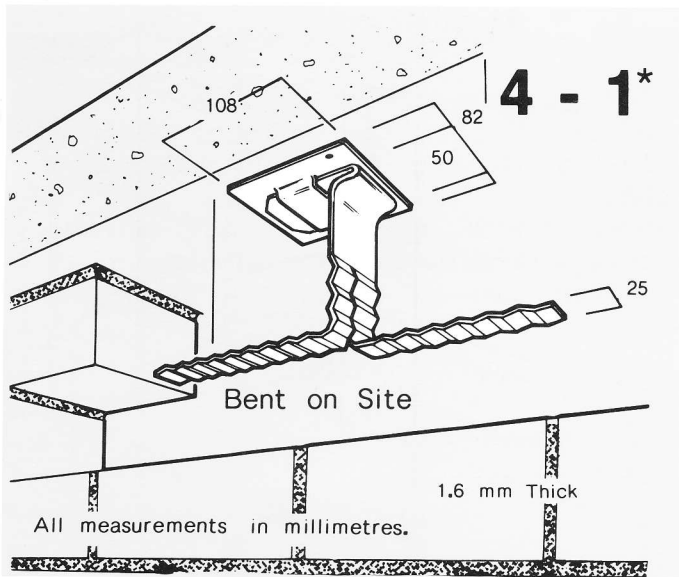
I hope this information is of some assistance.

Regards

Adrian

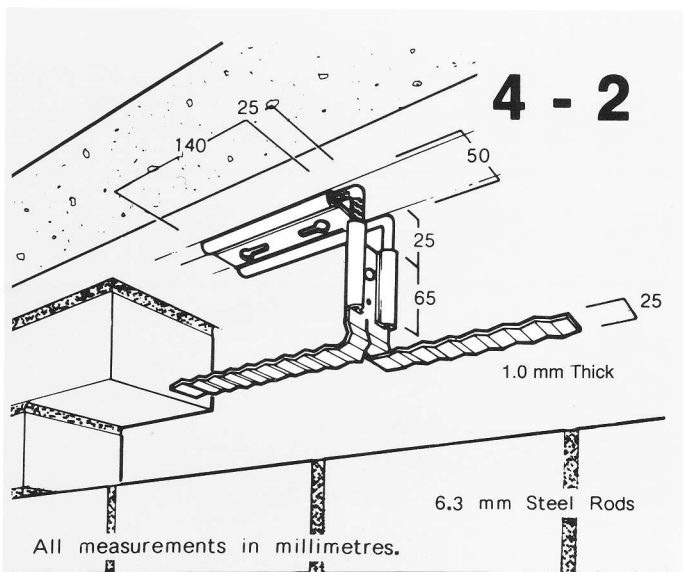
Adrian W. Page FTSE, Hon FIEAust

M.E.T. 4 Head Restraint Ties — 50 per Box



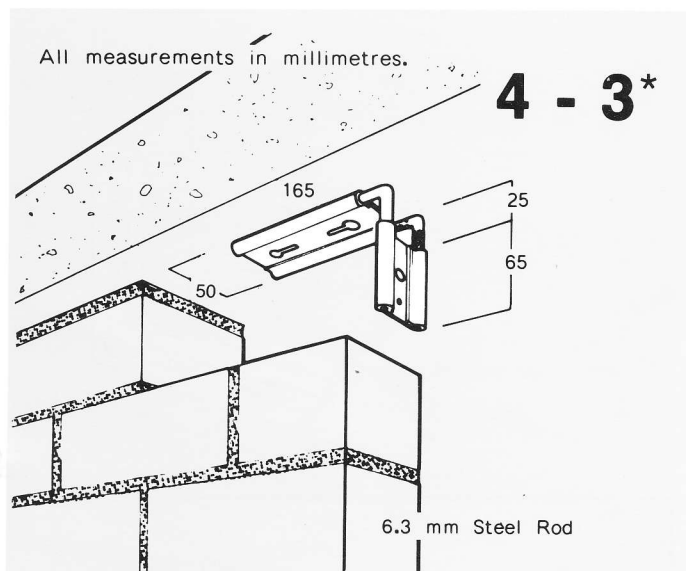
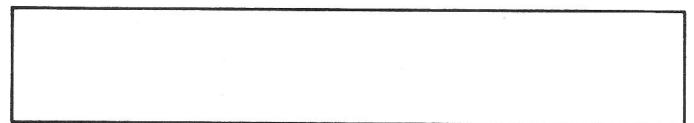
Galvanised compression tie for fixing non-loadbearing walls to underside of concrete slab or beam.

Resists lateral movement, compression action copes with deflection and shrinkage of concrete slab and brick or block wall movement.



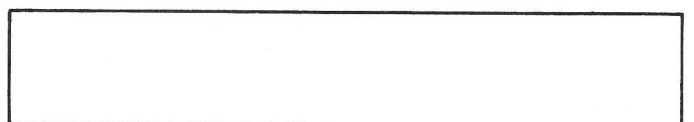
Galvanised sliding tie for fixing non-loadbearing walls to underside of concrete slab or beam.

Resists lateral movement, compression action copes with deflection and shrinkage of concrete slab and brick or block wall movement.



Galvanised sliding tie for fixing non-loadbearing walls to underside of concrete slab or beam.

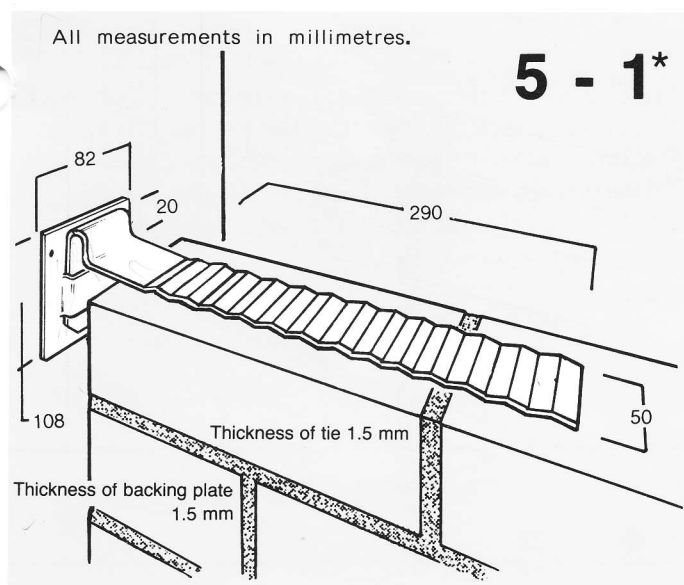
Resists lateral movement, compression action copes with deflection and shrinkage of concrete slab and brick or block wall movement.



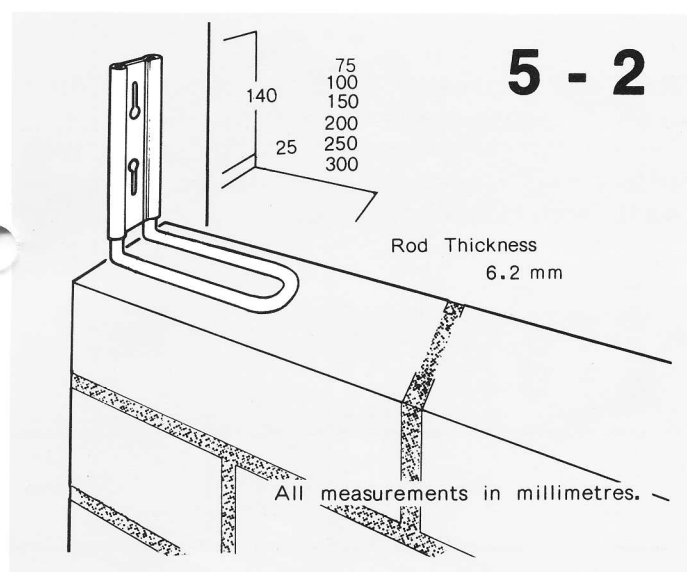
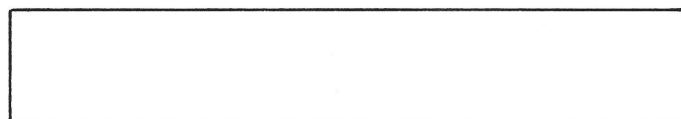
* Available ex stock.

M.E.T. 5 Column Expansion Ties

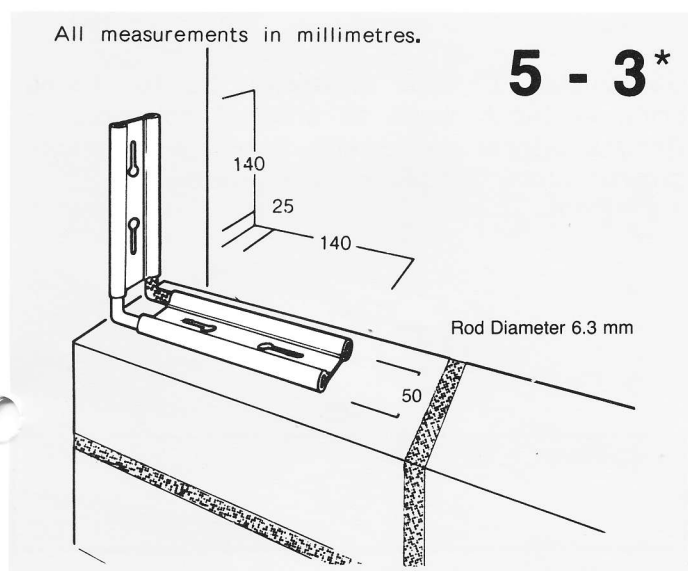
— 50 per Box



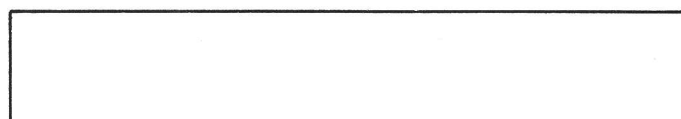
Galvanised compression tie for fixing brick or block walls to columns. Resists lateral movement compression action copes with brick growth, block shrinkage and column movement.



Galvanised sliding tie for fixing brick or block walls to columns. Resists lateral movement, sliding action copes with brick growth, block shrinkage and column movement.



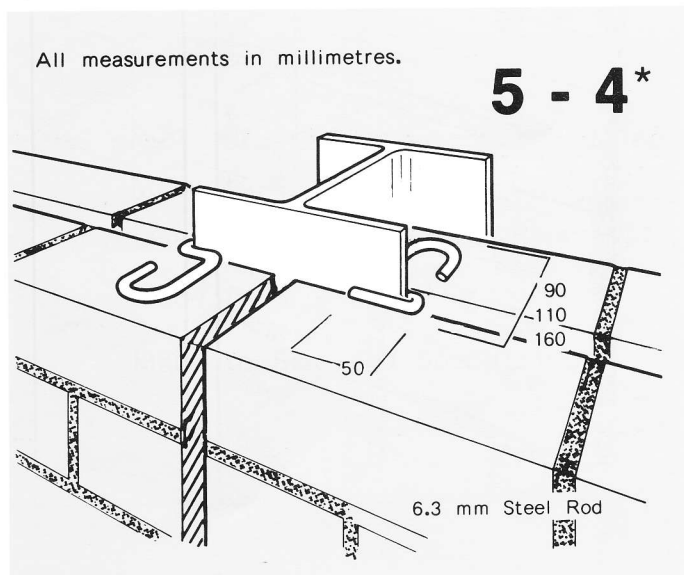
Galvanised sliding tie for fixing brick walls to columns. Resists lateral movement, sliding action copes with brick growth and column movement.



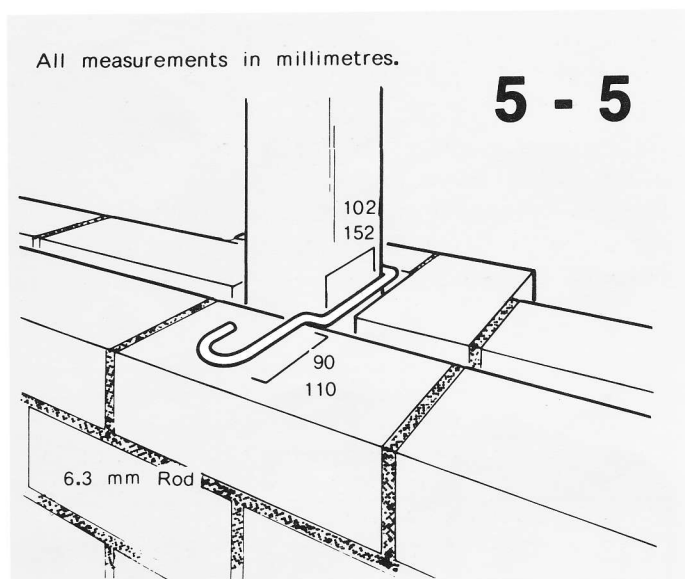
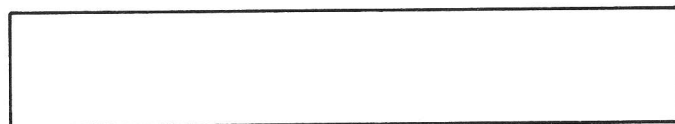
* Available ex stock.

M.E.T. 5 Column Expansion Ties

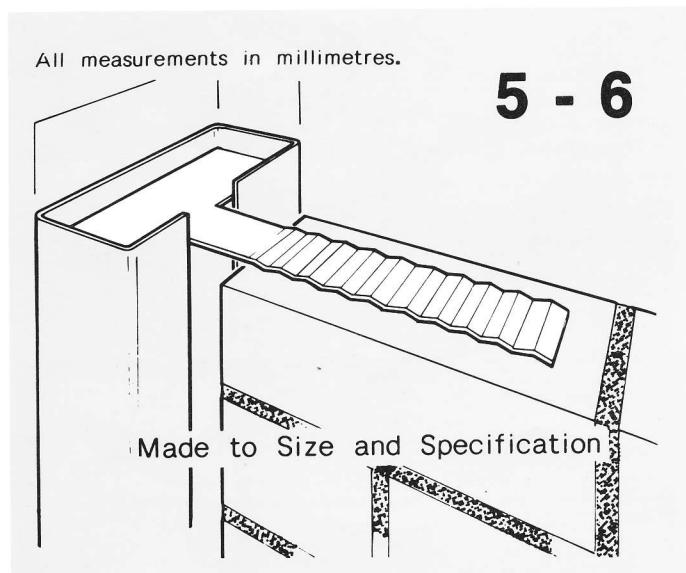
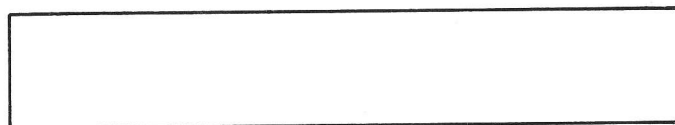
— 100 per Bag



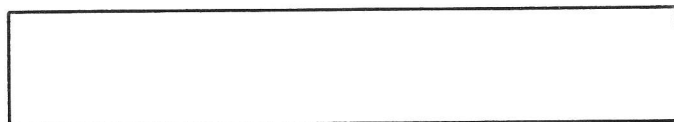
Steel rod expansion tie (clip on) for fixing brick or block walls to flange columns. Resists lateral movement, design copes with differential movement of brick or block walls and flange columns.



Steel rod expansion tie (clip on) for fixing brick or block walls to H.R.S. columns. Resists lateral movement, design copes with differential movement of brick or block walls and H.R.S. columns.



Galvanised "T" type expansion tie for fixing brick or block walls to channel columns. Resists lateral movement, copes with brick growth block shrinkage and column movement.



* Available ex stock.

ANEXO III

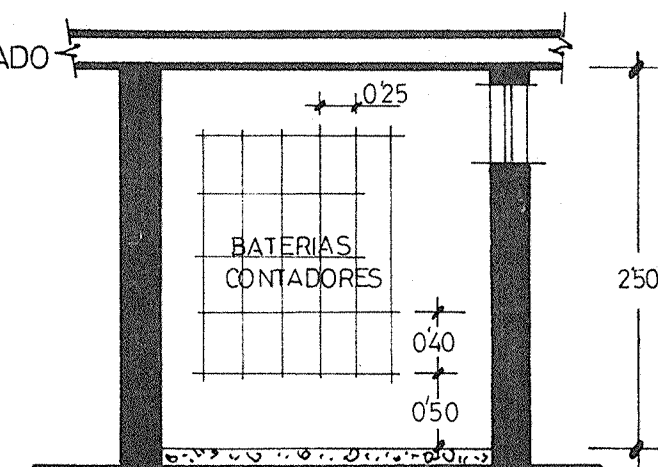
PLANOS DEL EDIFICIO DE LA BARRIADA DE SAN FERNANDO

SIGNOS

- ⊙ punto de luz doble
- ⊙ punto de luz simple
- ⊕ punto de luz en pared
- I_h interruptor basculante para puntos de luz
- interruptor diferencial magneto-termico de 650 M.A.
- ⌋ toma de corriente de 10 A. para circuito alumbrado (T.T. toma de tierra)
- ⌋ toma de corriente de 16 A. con toma de tierra
- ⌋ zumbador
- ⊙ pulsador
- ⊙ toma de antena colectiva TV y FM
- diametro minimo de tubos protectores en instalación interior 13 m.m.

ELECTRIFICACION MINIMA

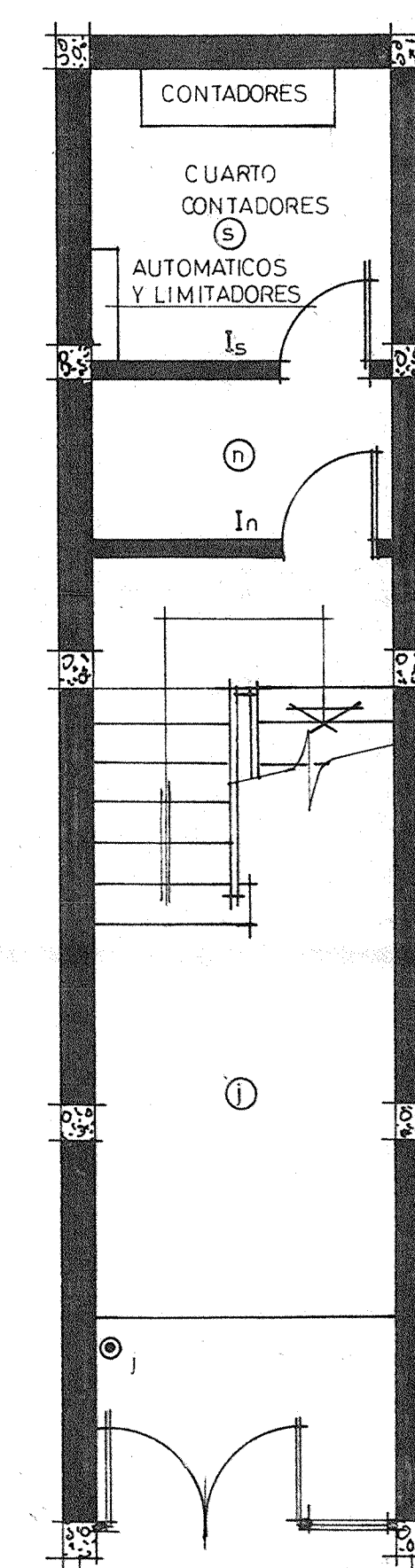
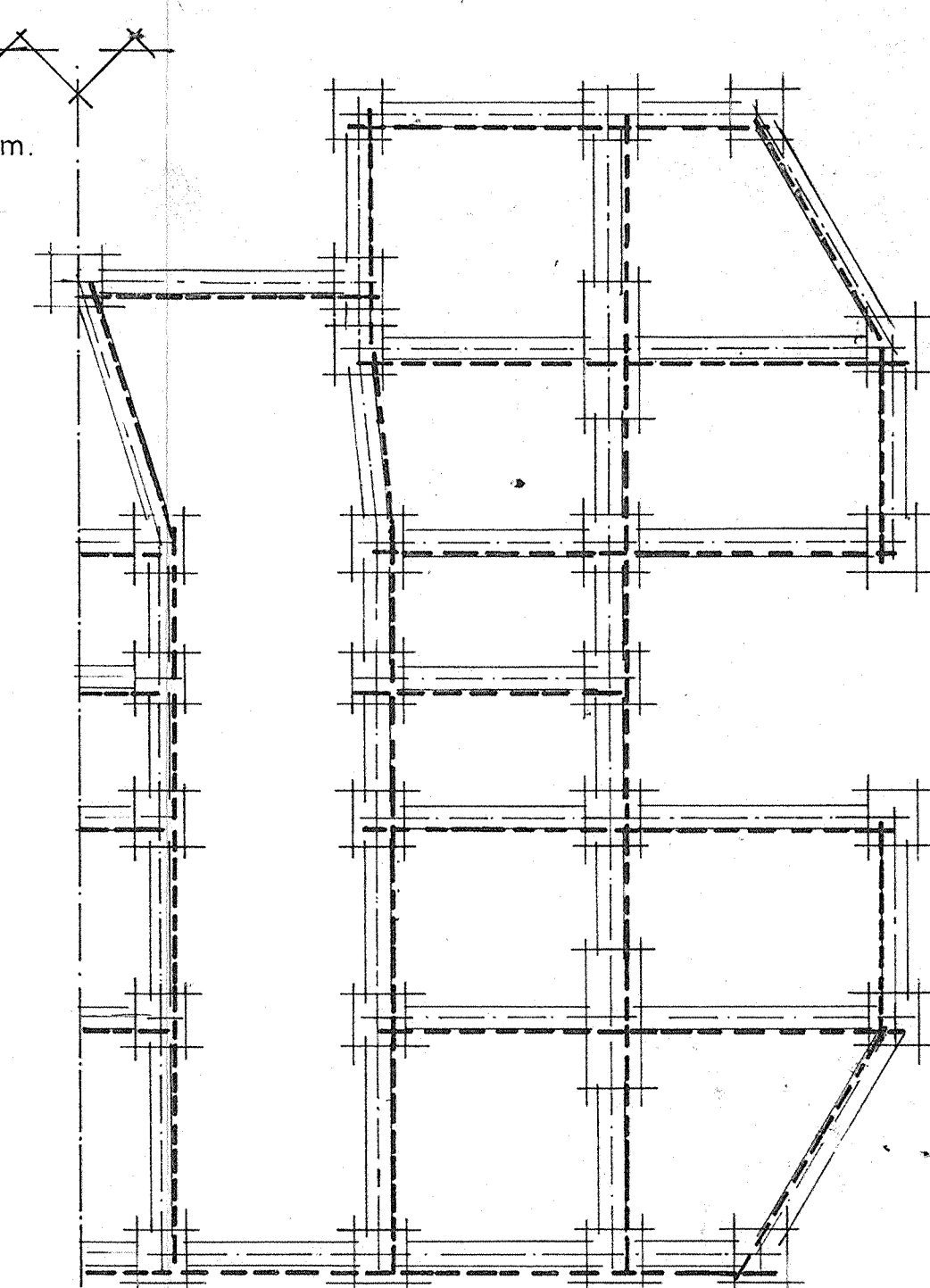
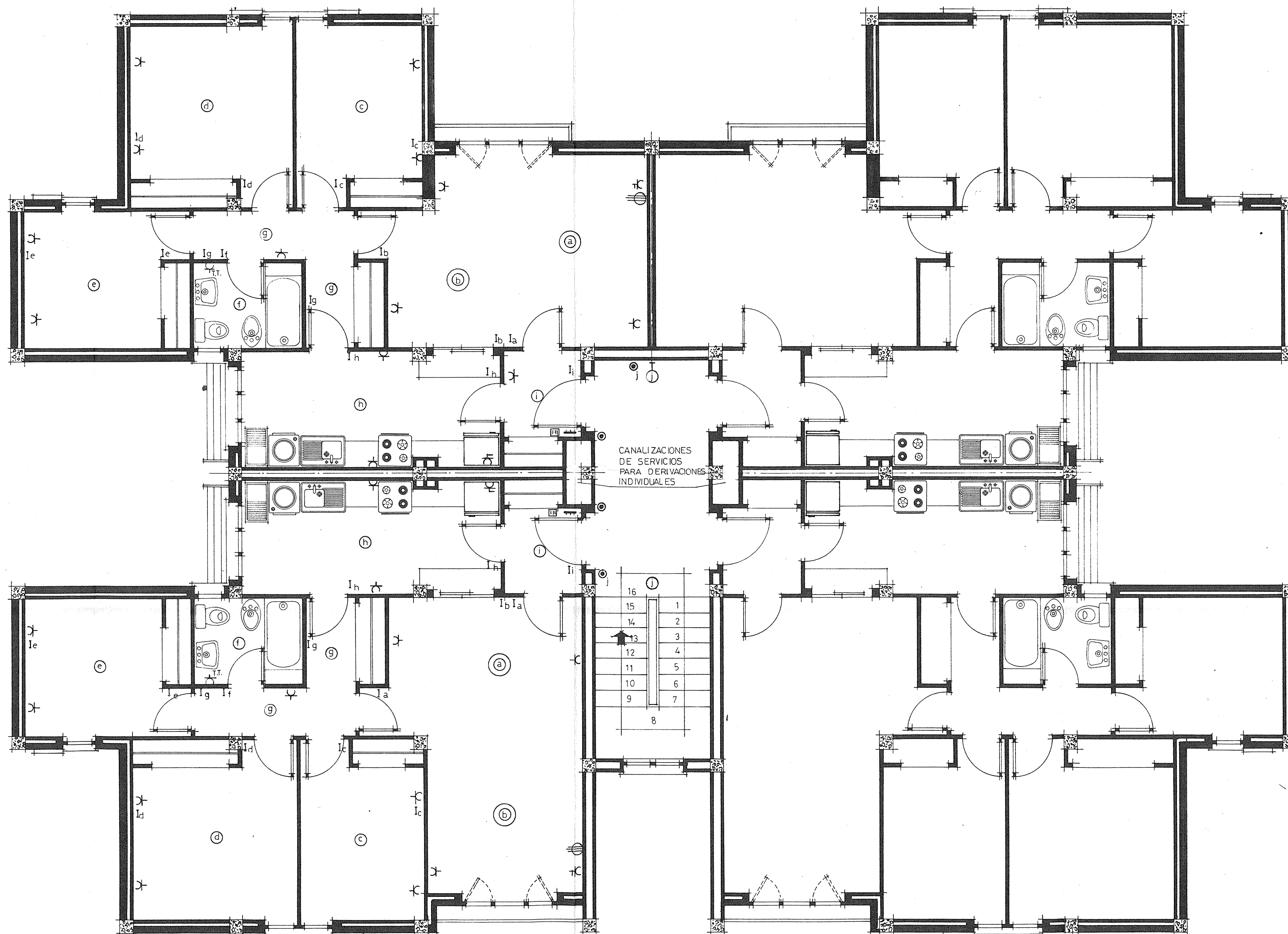
POTENCIA MAXIMA A INSTALAR 3000 W
CIRCUITO PARA PUNTOS DE LUZ Y TOMAS ALUMBRADO
CIRCUITO PARA TOMAS DE CORRIENTE OTROS USOS



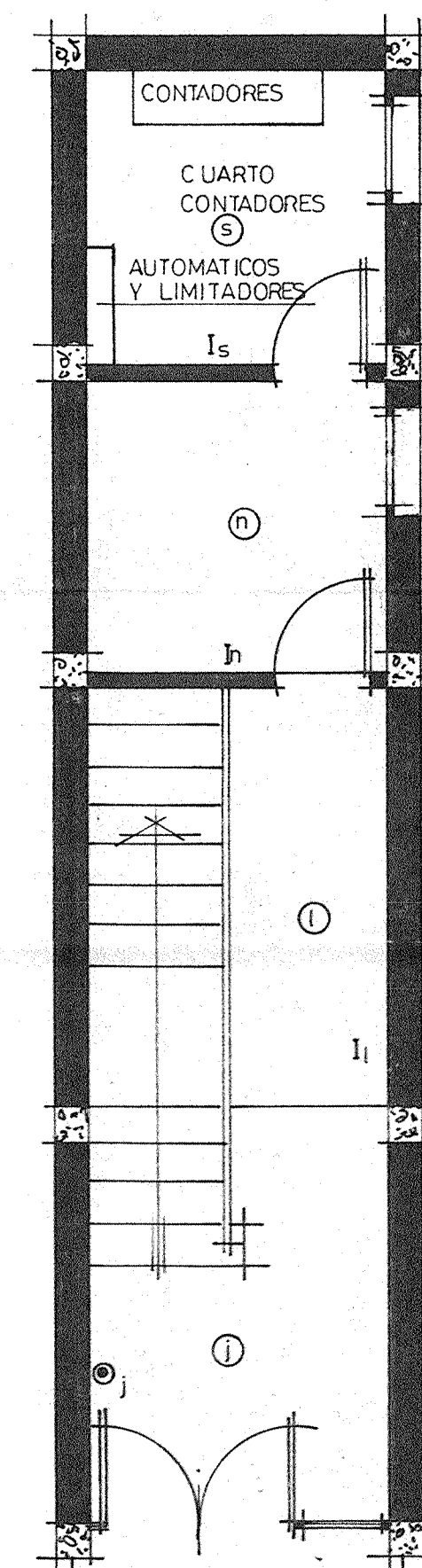
ESQUEMA CONTADORES

--- LINEA DE PUESTA A TIERRA EN CIMIENTOS ϕ 35 m.m.

17 CONTADORES PARA BLOQUES B-3V
13 " " " " B-3LC



ZAGUAN Y CUARTO
CONTADORES B-3LC



ZAGUAN Y CUARTO
CONTADORES B-3V

esc. 1:50 0 0'5 1 2 3 4 5 m.
esc. 1:100 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 m.

INSTITUTO NACIONAL DE LA VIVIENDA

ARQUITECTO
JOSE ESCUDERO
TORRELLA
ARQUITECTO
FCO. FERNANDEZ
LIEIDO RODRIGUEZ
COMPROBADO

FECHA

I. N. V.

REVISADO

CONFORME

FECHA

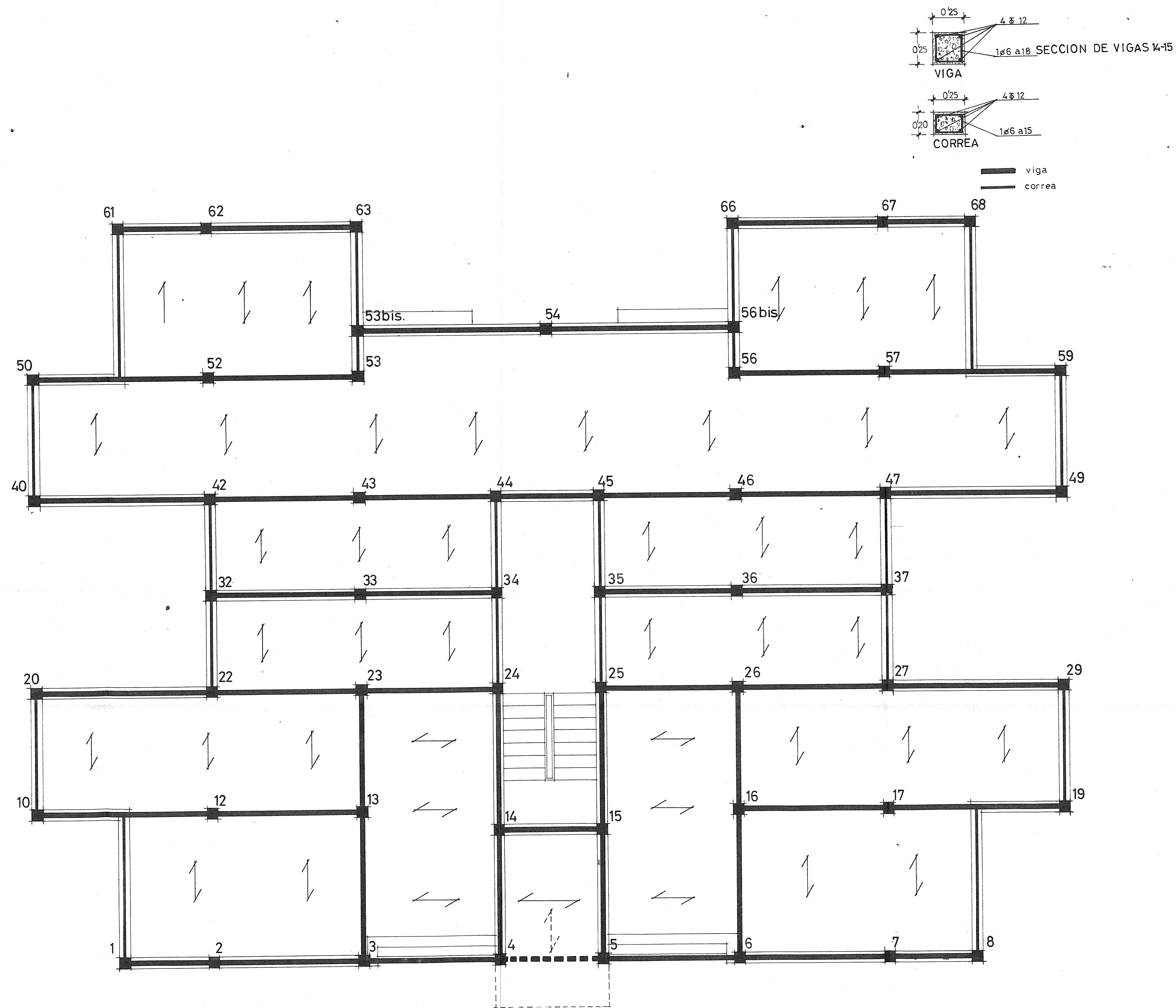
JUL. 1975

PROYECTO DE 232 VIVIENDAS
SUBVENCIONADAS LOCALES
COMERCIAL Y URBANIZACION
EN LORCA (MURCIA)

ELECTRICIDAD BLOQUES B-3V Y B-3LC

PROYECTO Nº
MU-20-IV/73

HOJA Nº
A-10



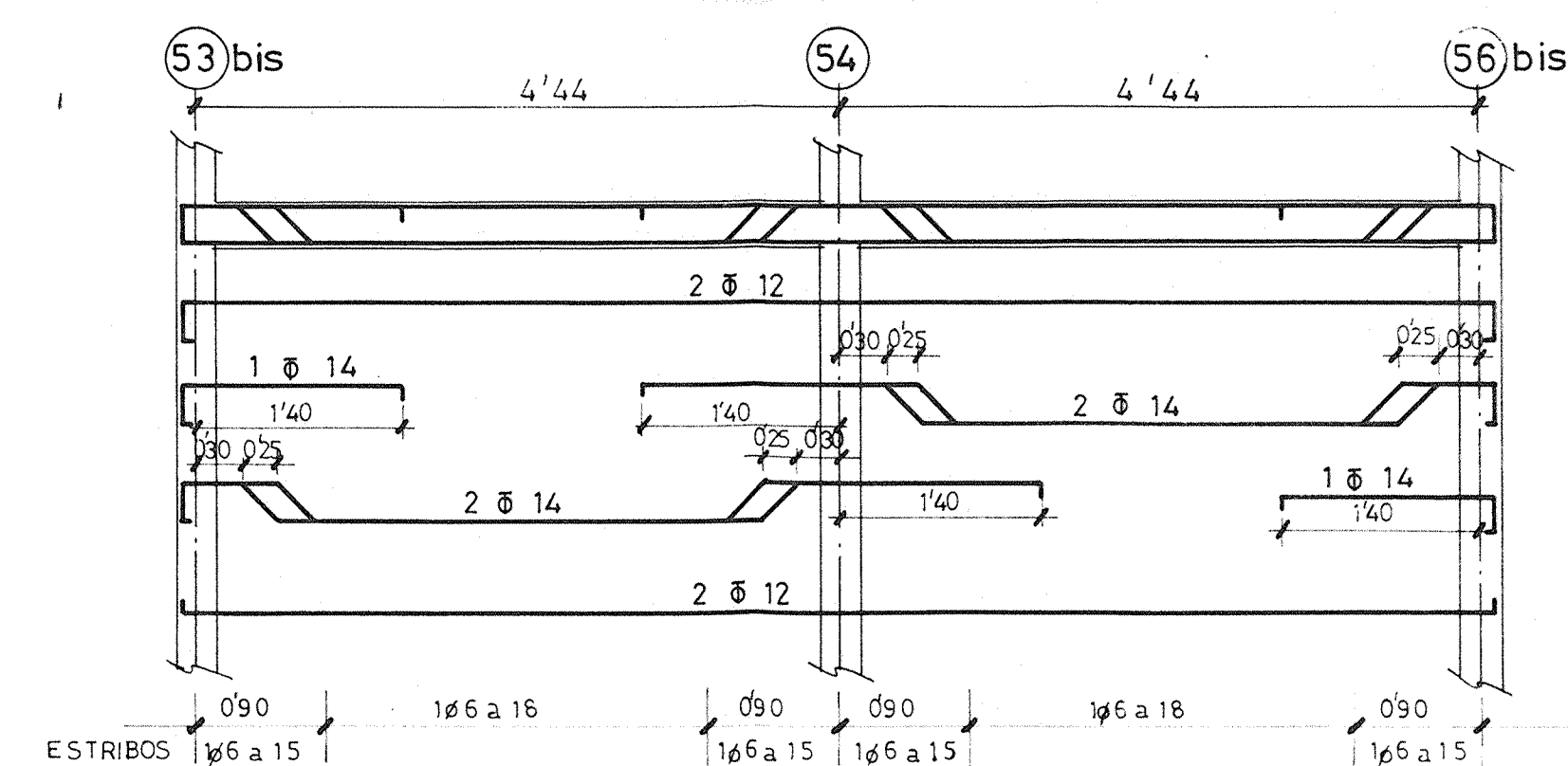
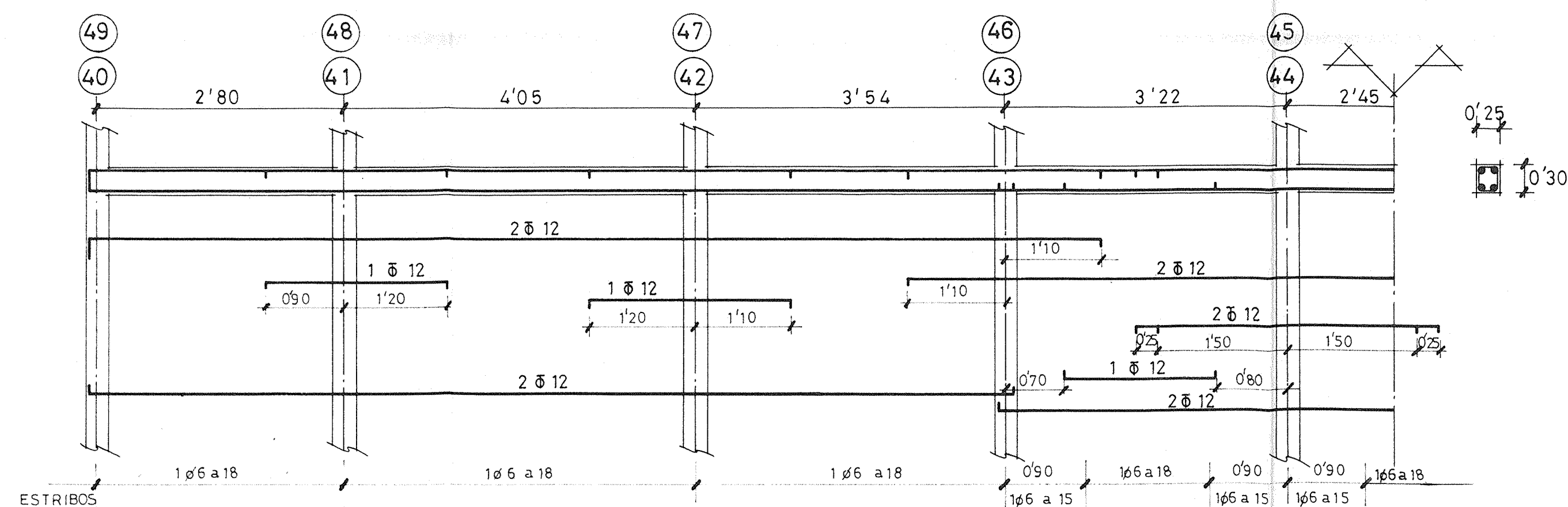
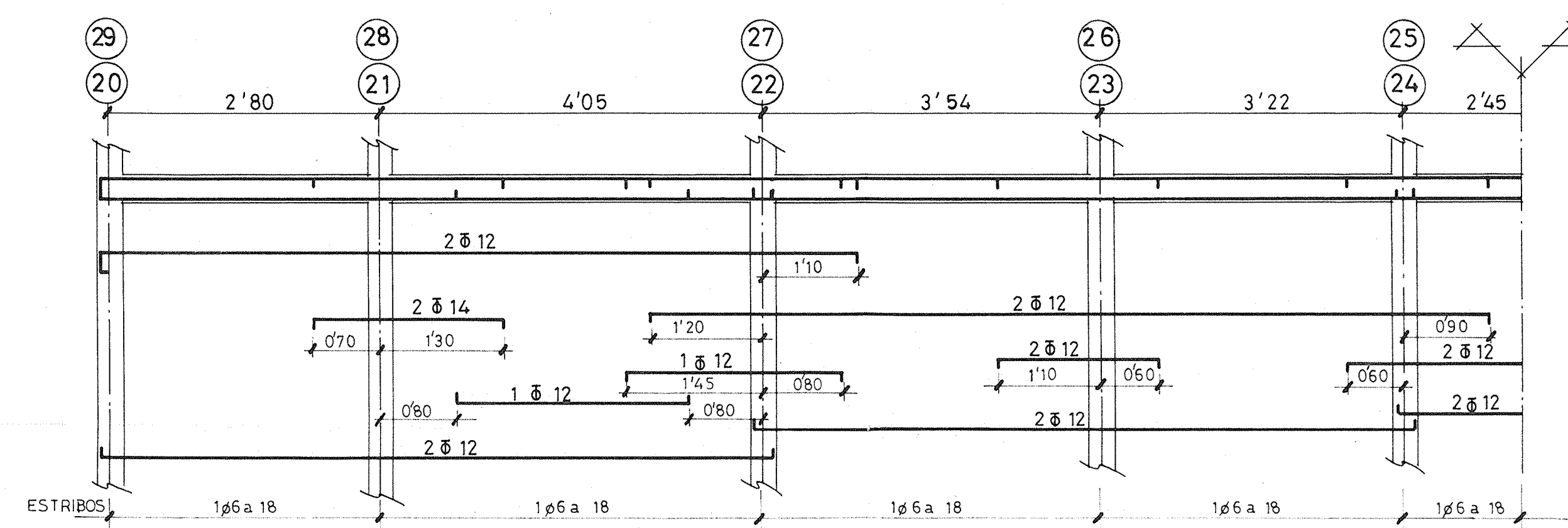
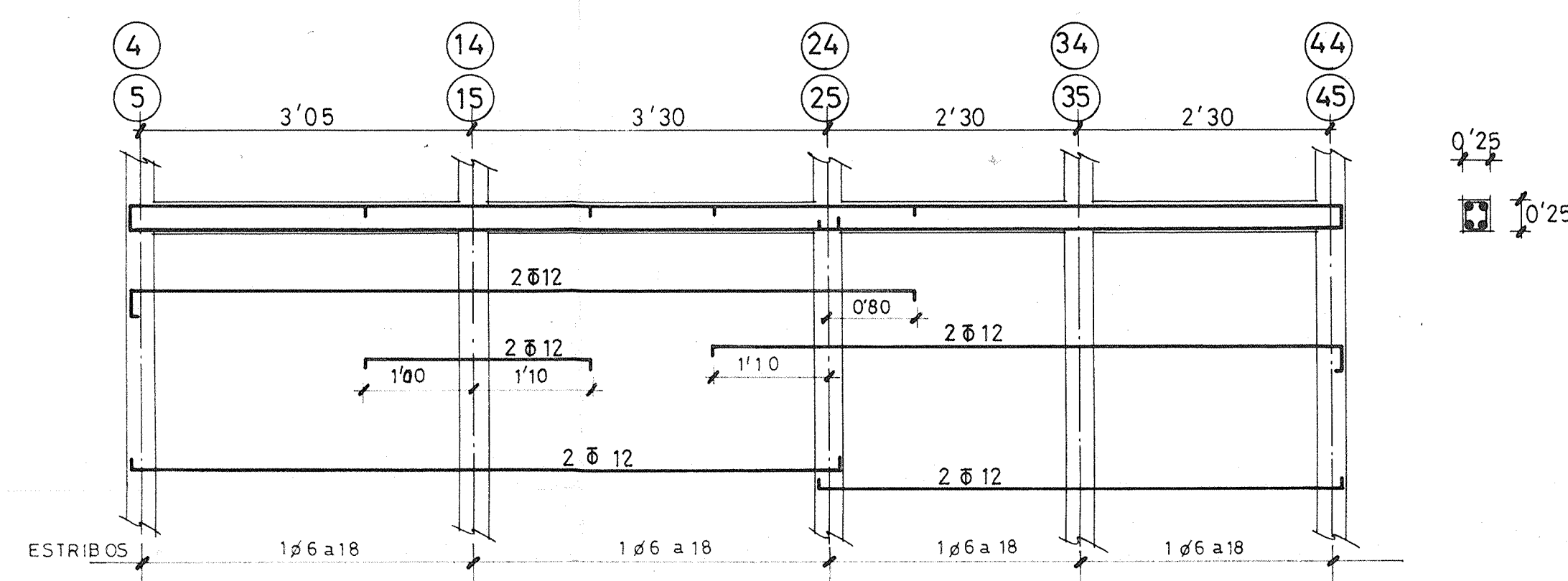
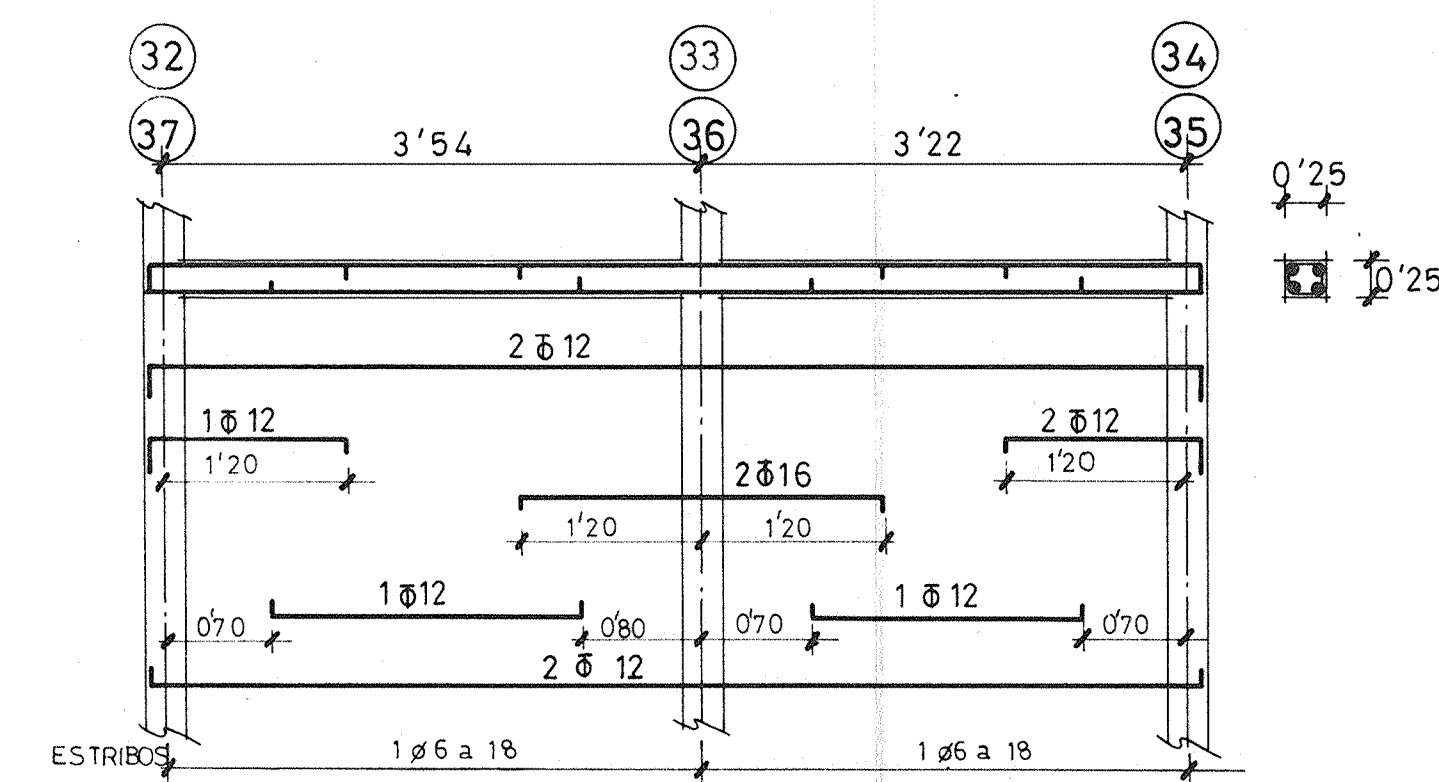
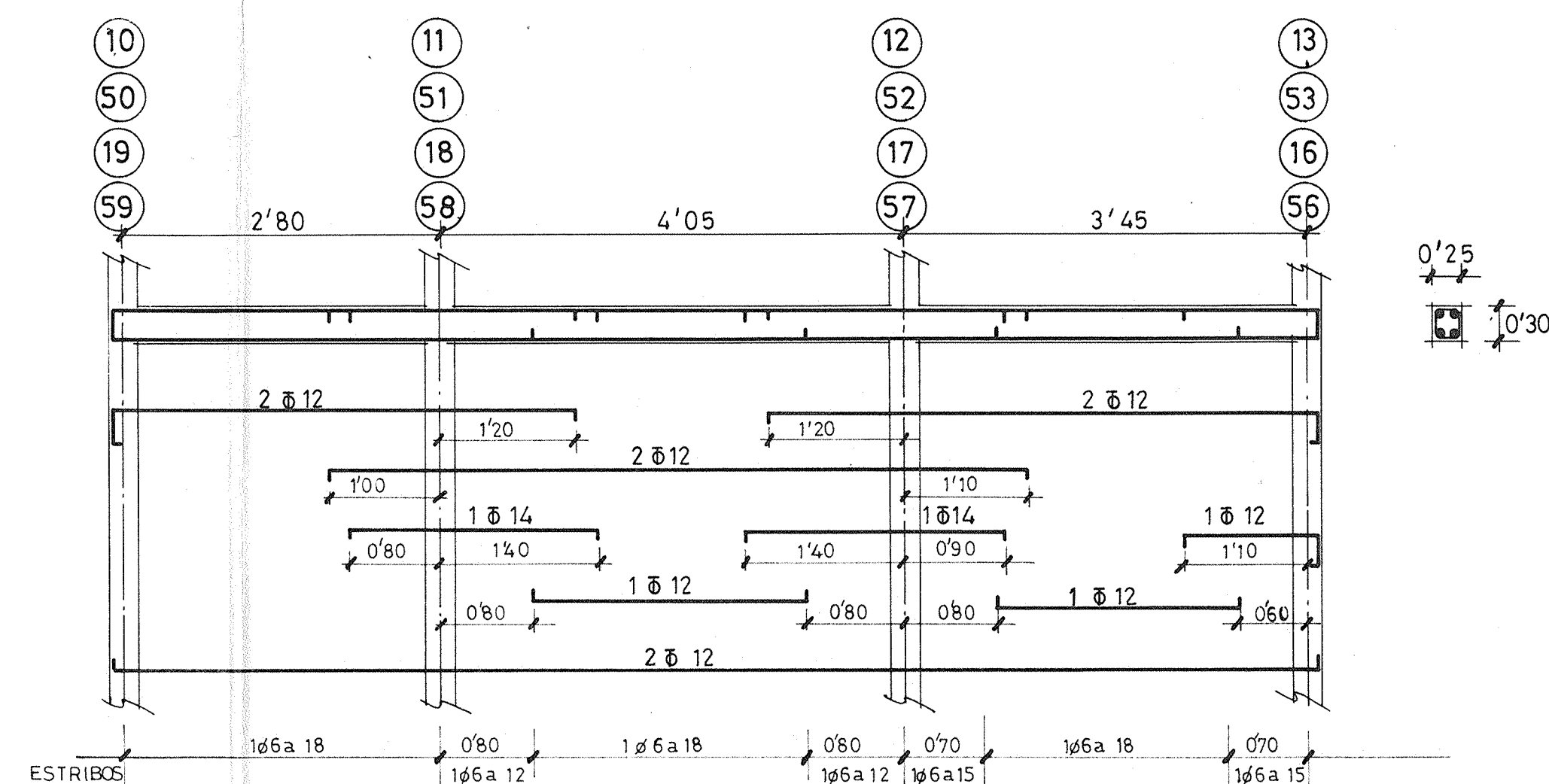
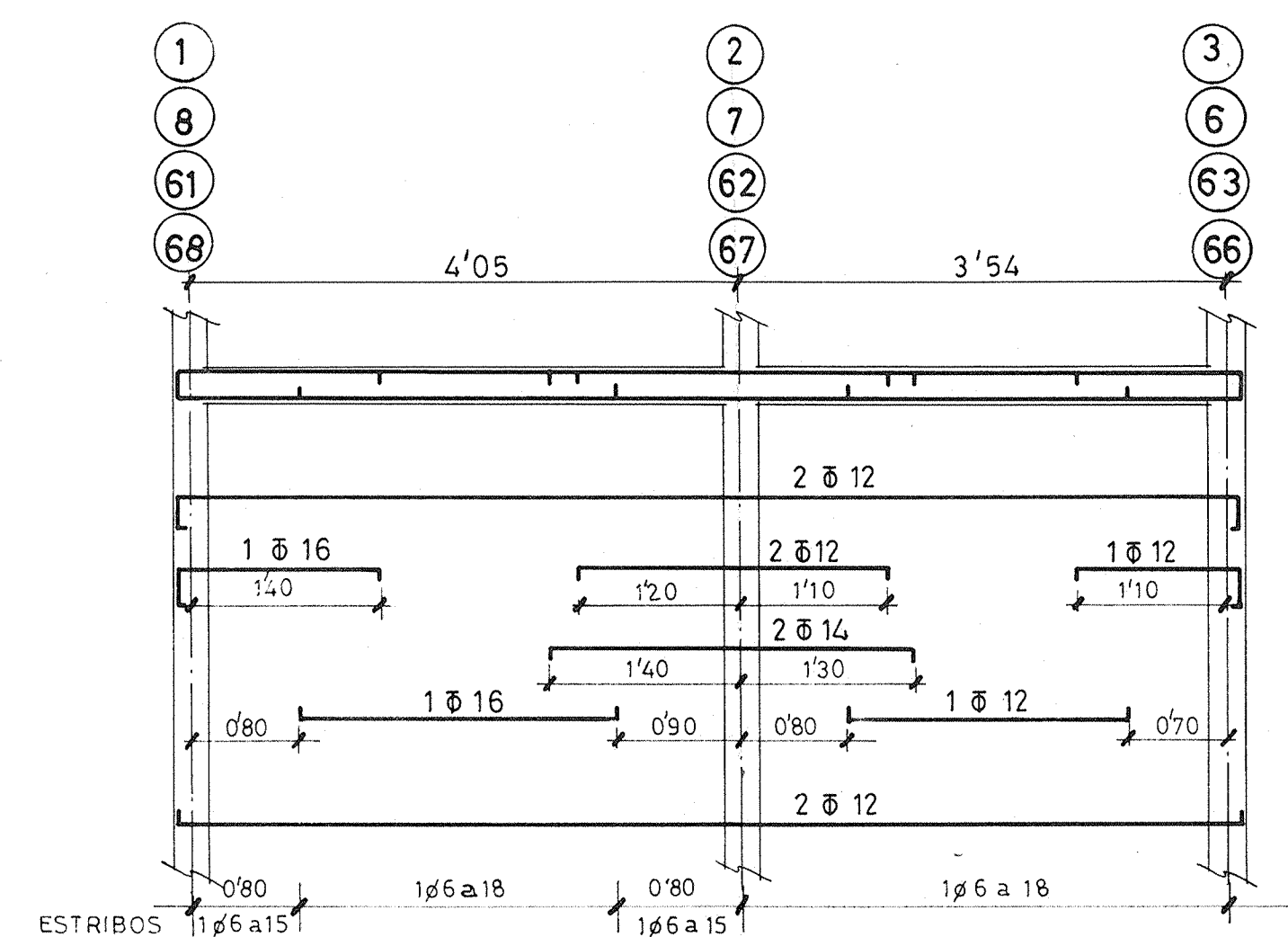
| nº de pilar | 1-8-61-68 | 20-29-4-5 | 2-7-50-59 | 10-19-53 | 43-46-42-23 | 13-16 | 12-52-57-17 | 54 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| piso | 1-8-61-68 | 20-29-4-5 | 2-7-50-59 | 10-19-53 | 43-46-42-23 | 13-16 | 12-52-57-17 | 54 |
| 4º | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 |
| 3º | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 |
| 2º | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 |
| 1º | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 |
| bajo | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 18 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 18 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 18 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 18 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 18 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 18 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 18 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 18 |
| carga en cimientos en Tm. | 17 | 25 | 30'5 | 30 | 40 | 43'5 | 55'5 | 48 |

NOTA:
los pilares de cerramiento subirán hasta la cubierta
con la misma sección e igual armadura del 4º piso

| nº de pilar | 1-8-61-68 | 20-29-4-5 | 2-7-50-59 | 10-19-53 | 43-46-42-23 | 13-16 | 54 | 12-52-57-17 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| piso | 1-8-61-68 | 20-29-4-5 | 2-7-50-59 | 10-19-53 | 43-46-42-23 | 13-16 | 54 | 12-52-57-17 |
| 3º | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 |
| 2º | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 |
| 1º | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 25 x 25 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 |
| bajo | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 | 30 x 30 4 Ø 12 1 Ø 6 a 15 |
| carga en cimientos en Tm. | 13'5 | 20 | 24'5 | 24 | 32 | 34'5 | 38'5 | 44 |

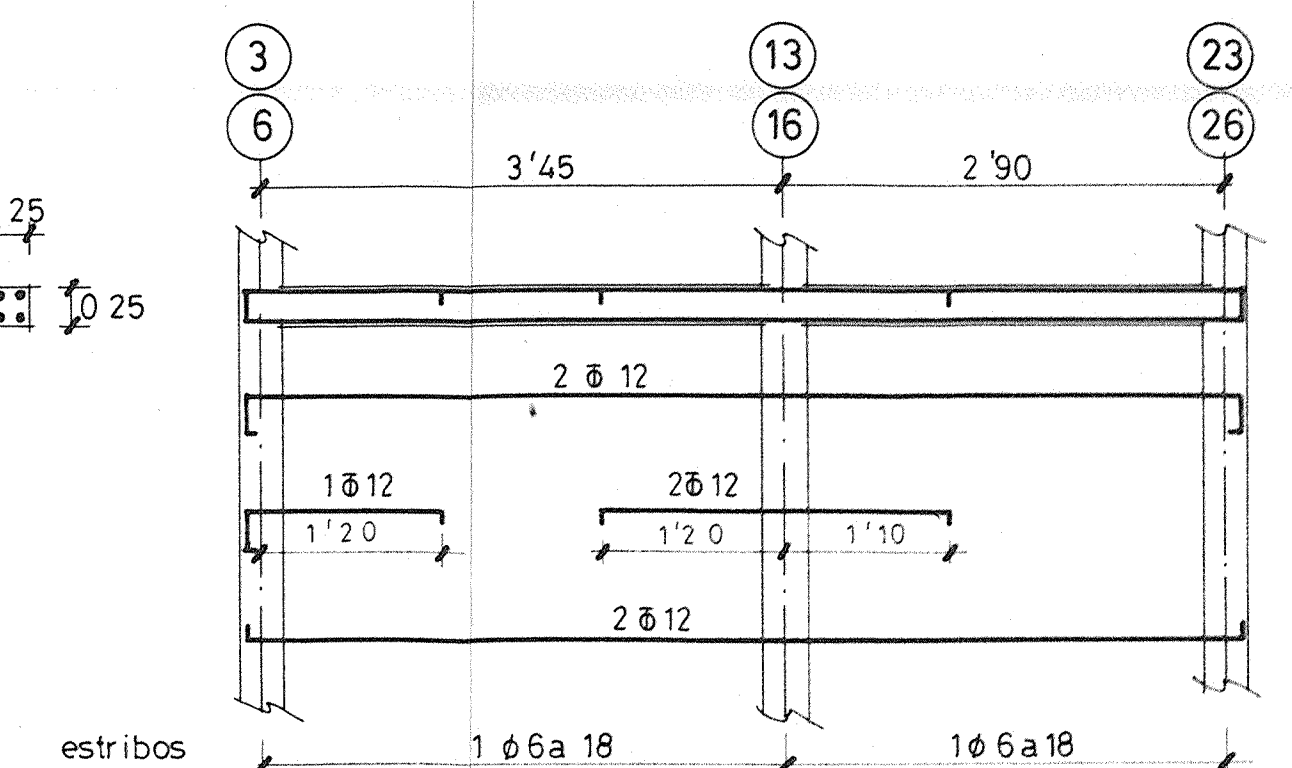
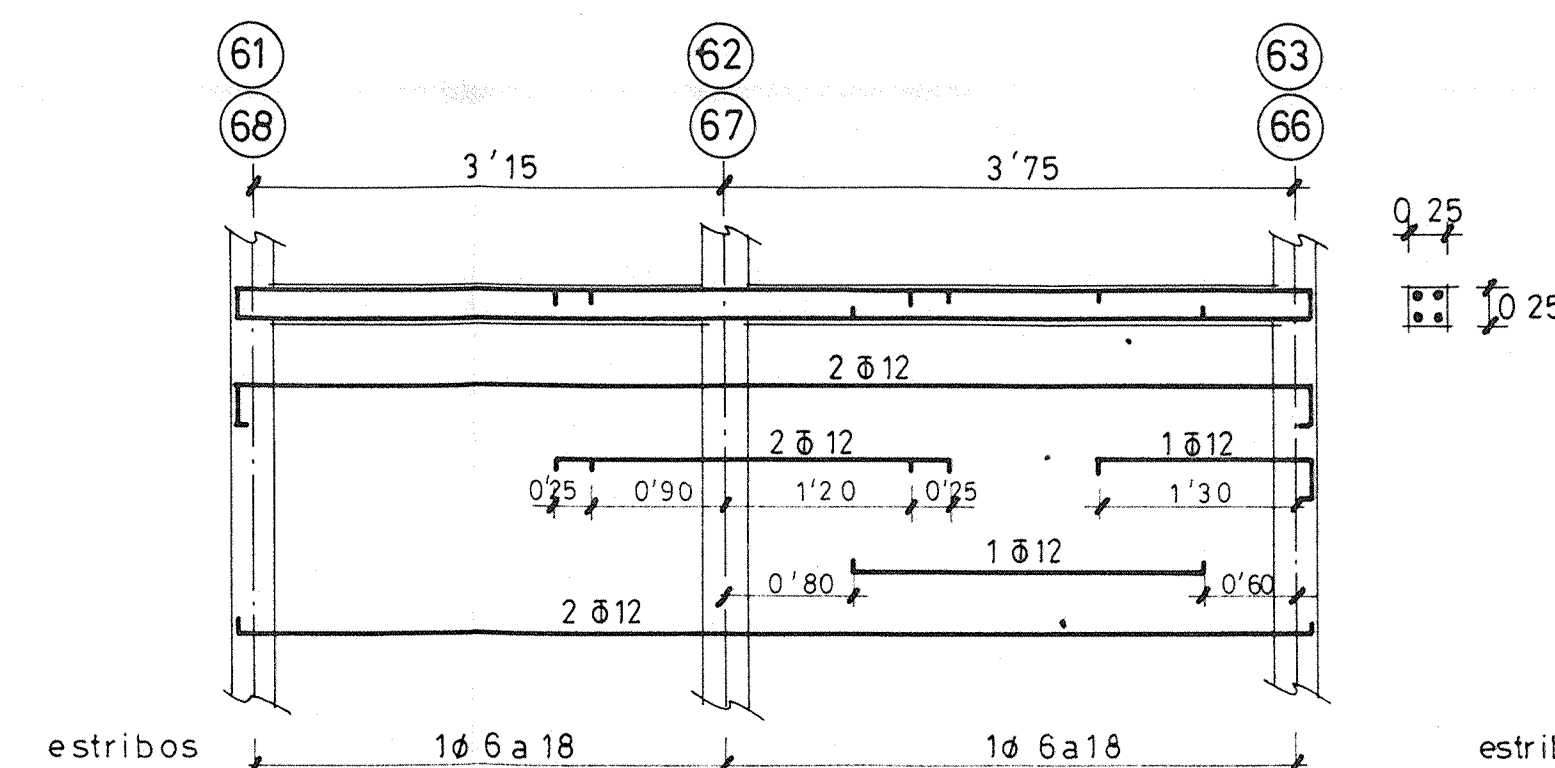
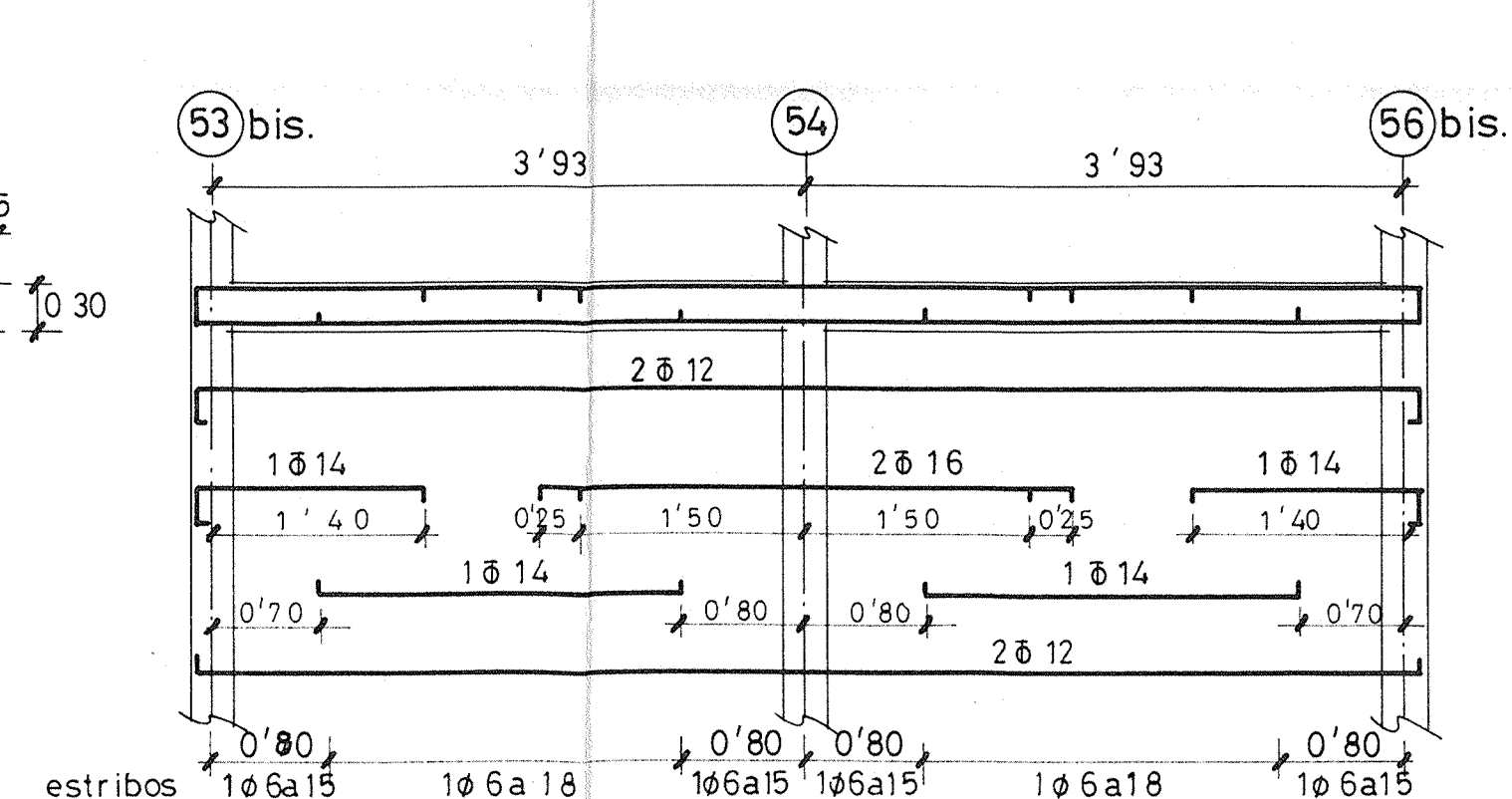
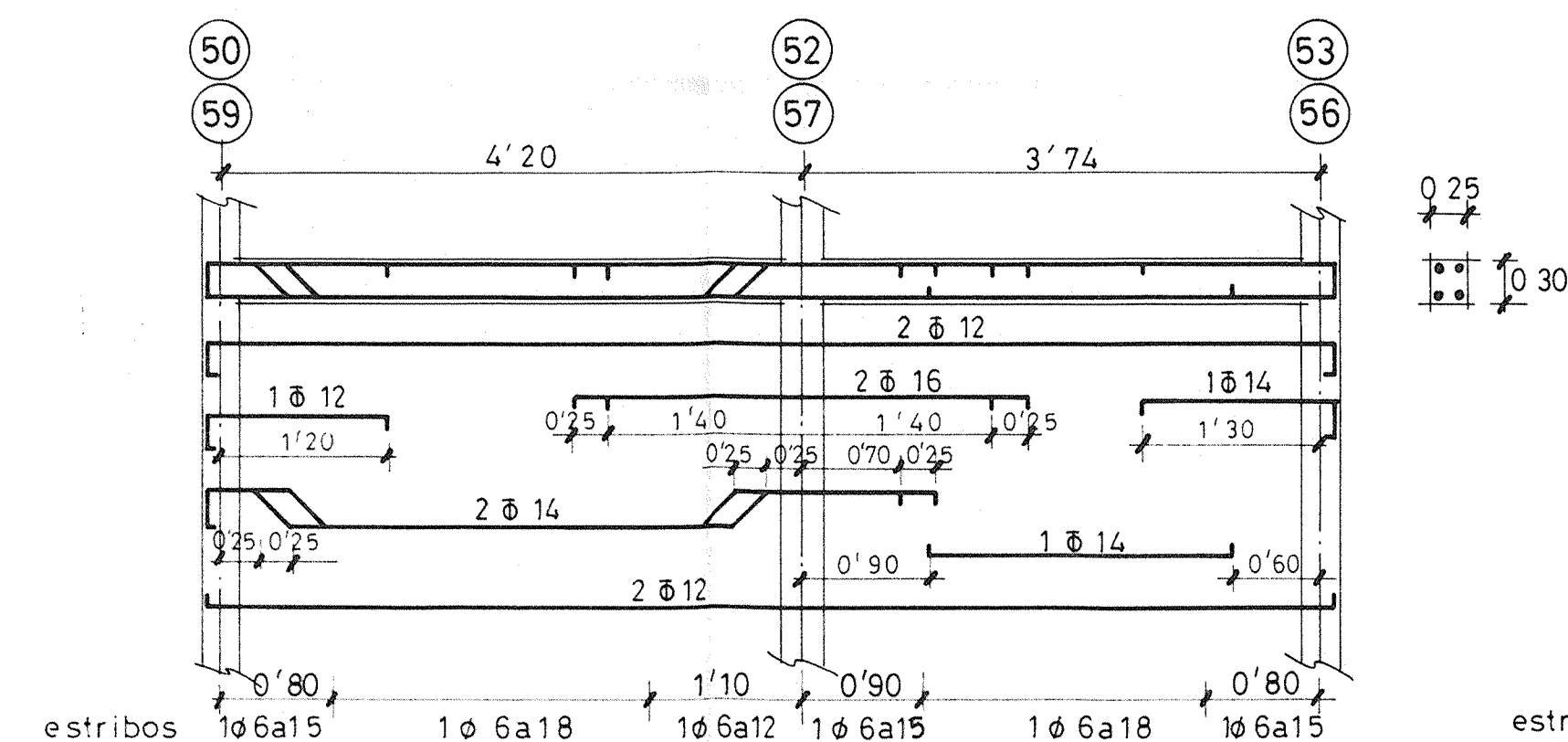
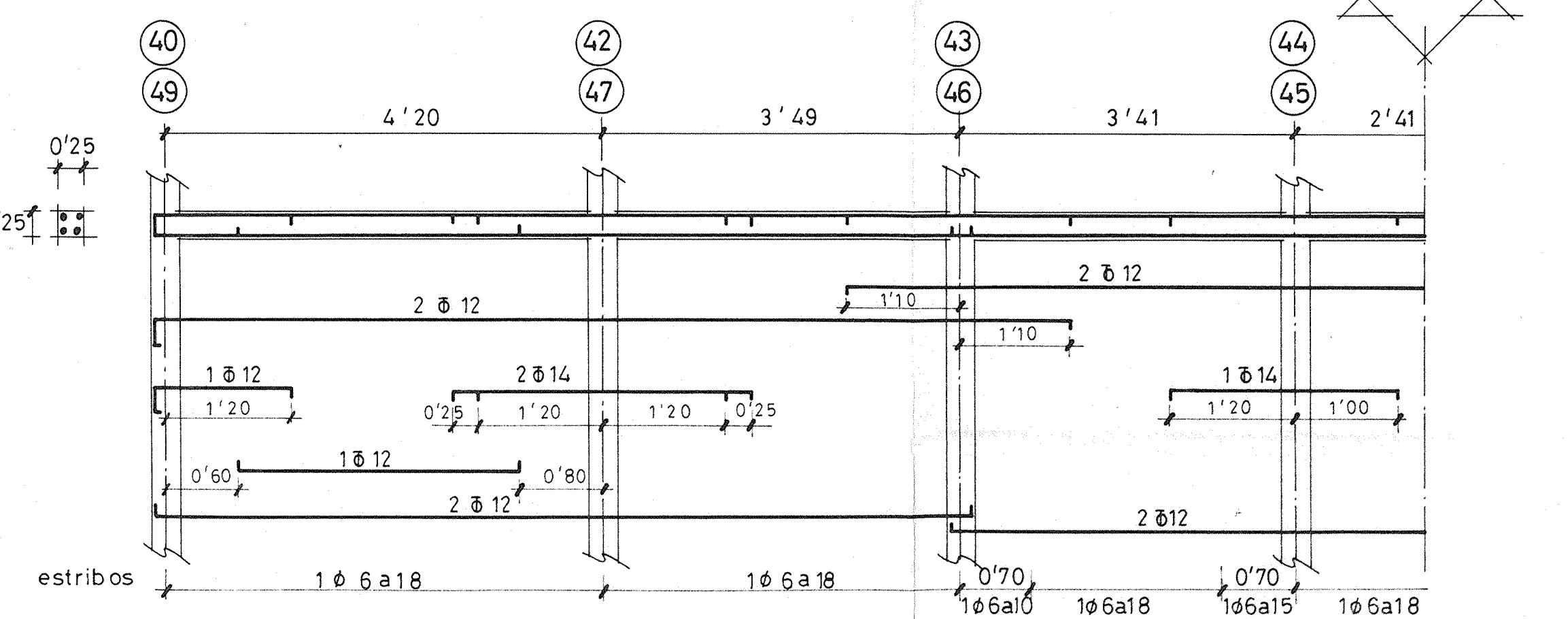
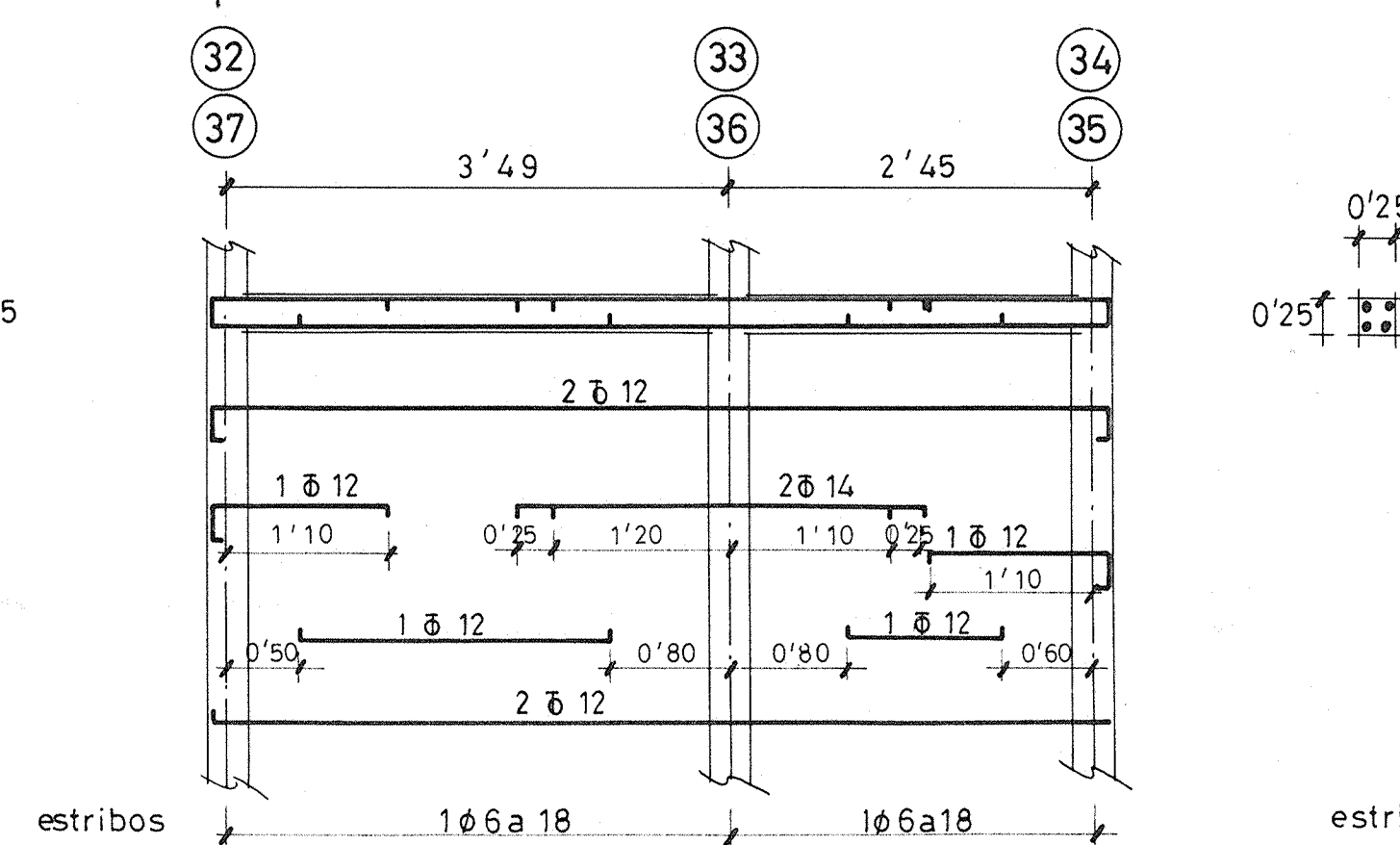
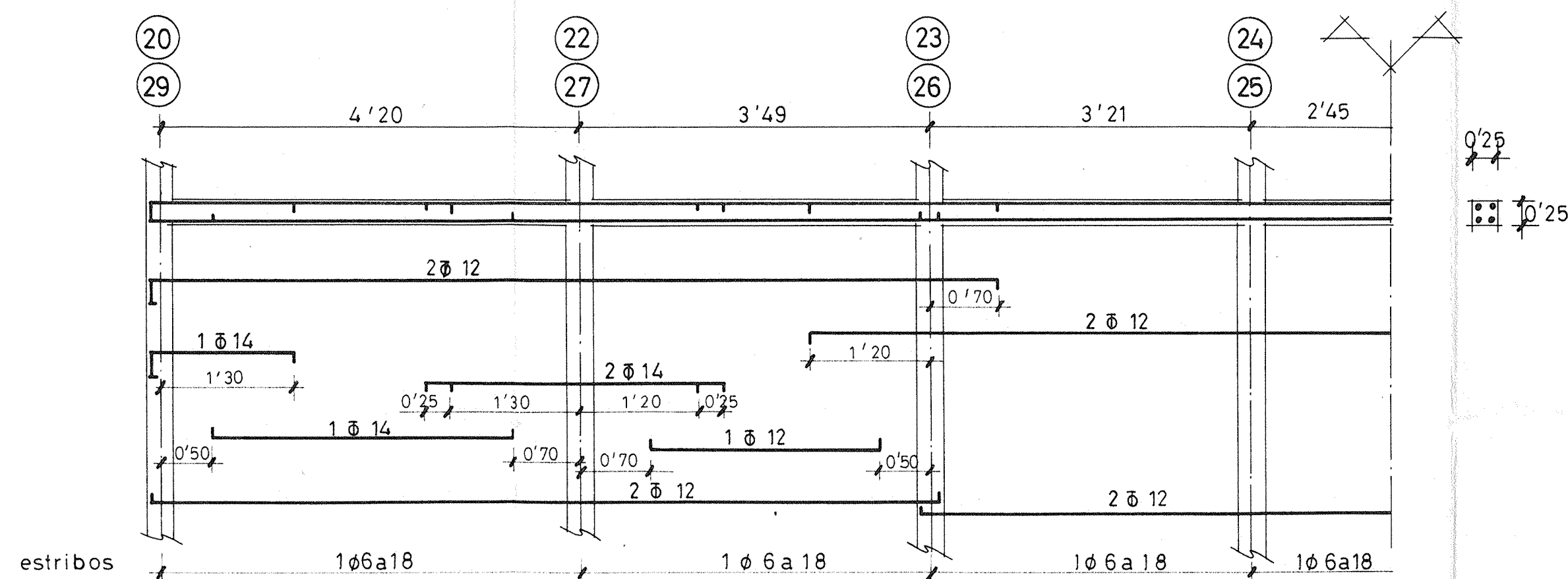
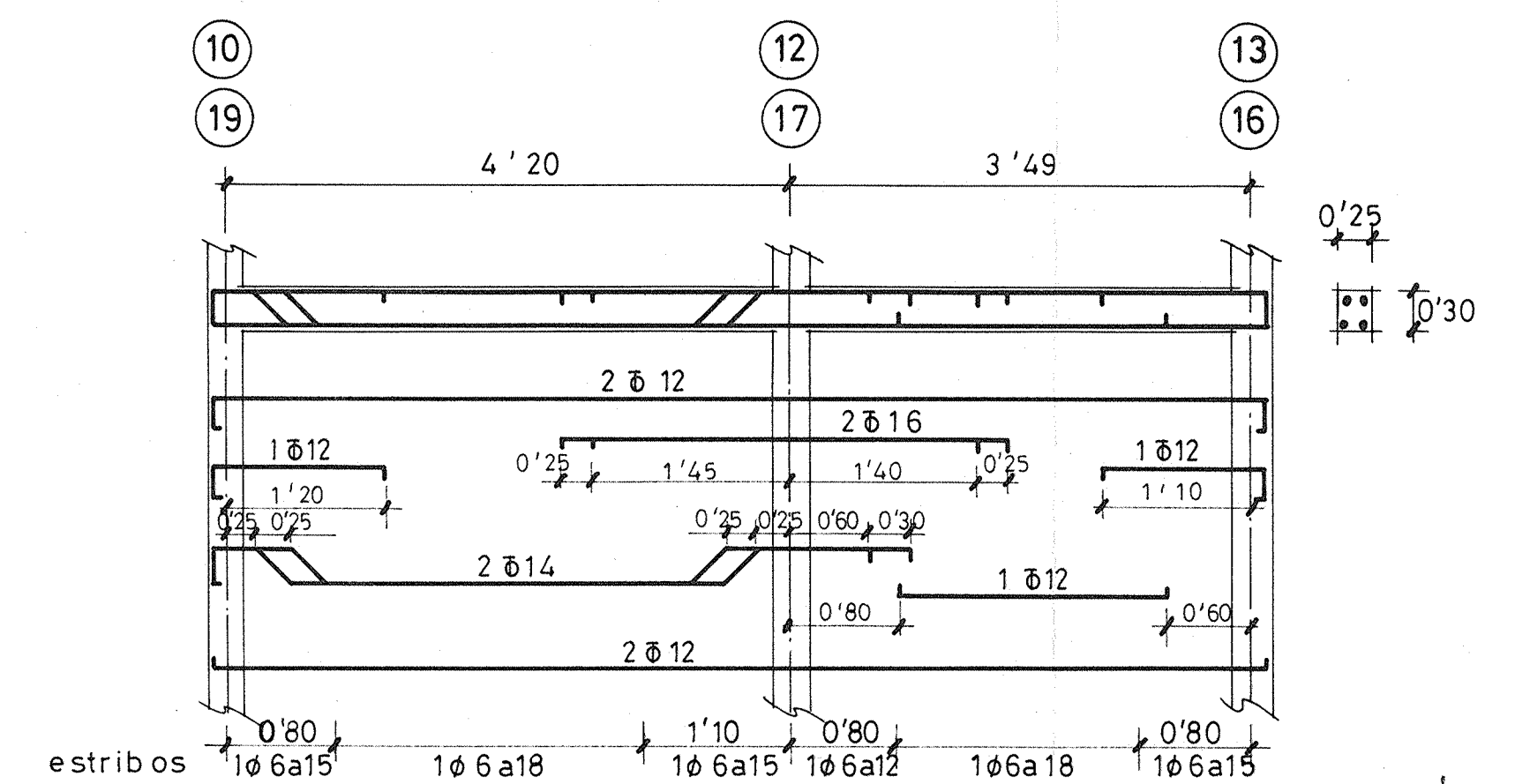
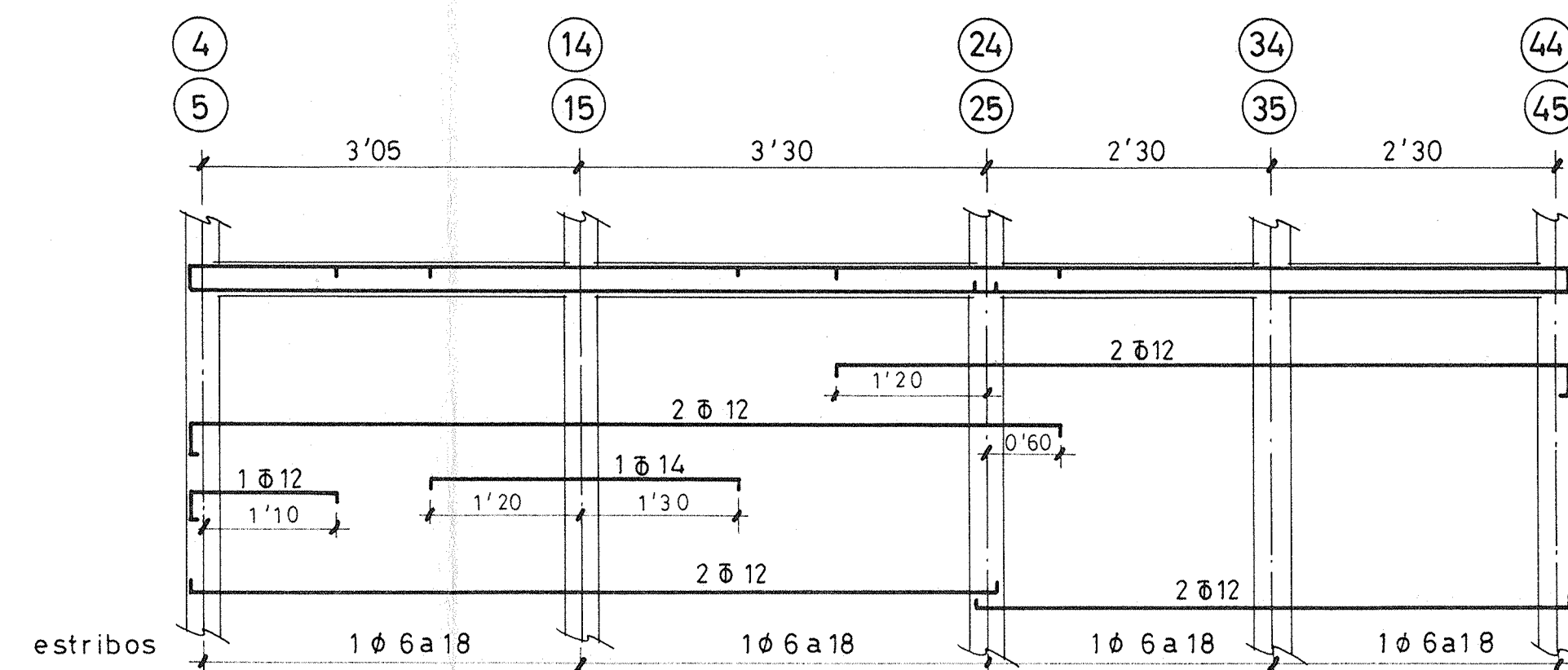
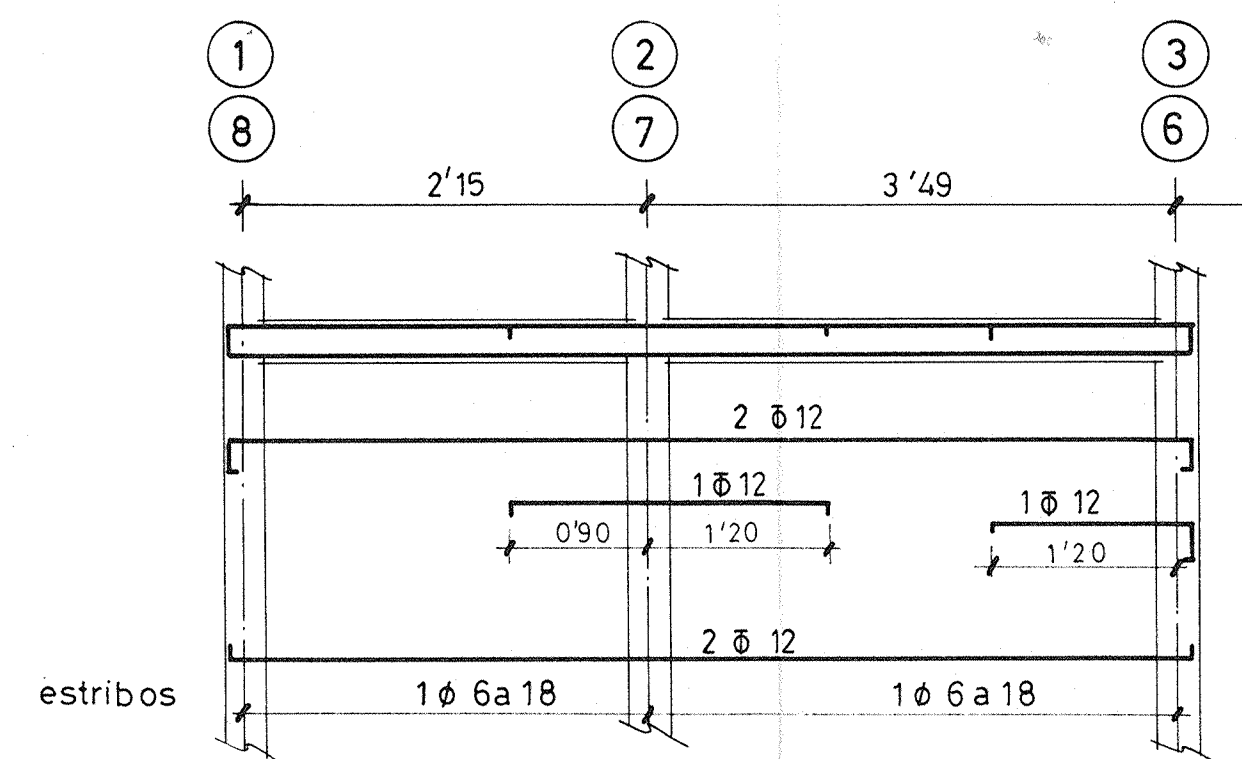
esc. 1:50 0 0'5 1 2 3 4 m.

| | |
|--|--|
| INSTITUTO NACIONAL DE LA VIVIENDA | |
| ARQUITECTO JOSE ESCUDERO TORRELLA ARQUITECTO FCO. FERNANDEZ LIEDEO RODRIGUEZ COMPROBADO FECHA | PROYECTO DE 232 VIVIENDAS SUBVENCIONADAS LOCALES COMERCIALES Y URBANIZACION EN LORCA (MURCIA) |
| I. N. V. REVISADO CONFORME FECHA | ESTRUCTURA BLOQUES B-3V Y B-3LC PROYECTO N° MU-20-IV /73 HOJA N° S-3 |
| FECHA | JUL. 1975 |



esc: 1:50 0 0'5 1 2 3 4

| INSTITUTO NACIONAL DE LA VIVIENDA | | | |
|---|------------|---|---------|
| ARQUITECTO JOSE ESCUDERO TORRELLA | COMPROBADO | PROYECTO DE 232 VIVIENDAS SUBVENCIONADAS, LOCALES COMERCIALES Y URBANIZACION EN LORCA (MURCIA) | |
| ARQUITECTO Fco. FERNANDEZ LIEDO RODRIGUEZ | | | |
| FECHA | JULIO 1975 | DESPECIE DE VIGAS BLOQUES B-4V | |
| REVISADO | I. N. V. | | |
| CONFORME | | PROYECTO N° | HOJA N° |
| FECHA | JUL. 1975 | MU-20-IV/73 | S-5 |



INSTITUTO NACIONAL DE LA VIVIENDA

ARQUITECTO
JOSE ESCUDERO
TORRELLA
ARQUITECTO
Fco FERNANDEZ
LIEDO RODRIGUEZ

COMPROBADO

FECHA JULIO 1975

I. N. V.

REVISADO

CONFORME

FECHA

PROYECTO DE 232 VIVIENDAS
SUBVENCIONADAS, LOCALES
COMERCIALES Y URBANIZACION
EN LORCA (MURCIA)

DESPIECE DE VIGAS
BLOQUES B-3V y B-3LC

PROYECTO N°

MU-20-IV/73

HOJA N°

S-6

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcocer, S.M. and Klinger, R.E., 1994, "Masonry Research in the Americas"
2. Amrhein, J. E., 1992 " Reinforced Masonry Engineering Handbook"
3. Barrios Padura A. y Barrios Sevilla J., 2011, "Obras de fábrica. Libro 2: El proceso constructivo de las obras de fábrica"
4. Beard R., Dinnie A., Richards R., 1969, "Movement of Brickwork"
5. Beard R., Dinnie A., Sharples A.B., 1983 "Movement of Brickwork- A Review of 21 Year's Experience".
6. Binda, L., Fontana, A. and Frigerio, G., "Mechanical Behaviour on Brick Masonries Derived from Unit and Mortar Characteristics"
7. Colegio de Aparejadores y Arquitectos técnicos de Madrid, 2004 "Revista BIA nº224"
8. Comité Européen de Normalisation, 1996 "Eurocode 6: Design of masonry structures"
9. Crisafulli, F.J., 1997 "Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills"
10. De Isidro Gordejuela F., 2003, "Determinación de la expansión por humedad de los productos cerámicos empleados en elementos estructurales"
11. Departamento de arquitectura de INTEMAC, 1995-2012 "Informes"
12. Dhanasekar, M., Page, A. W. and Kleeman, P. W., 1982 "The Elastic Properties of Brick Masonry"
13. Fisher K., 1983, "Moisture Movement in Brickwork: A Further View"
14. Gómez López E., 1985, "Expansión por humedad en los productos cerámicos de la construcción"
15. Hendry, A. W., 1990, "Structural Masonry"
16. Hoffmann, G and Schubert, P, 1994, "Compressive strenght of masonry parallel to the bed joints"
17. Instituto Eduardo Torroja, 1971 " Obras de fábrica: PIET-70"
18. Jiménez López L., 2002 "Técnica de la construcción con ladrillo"
19. Kirtschig,K.,1985 "On the Failure Mechanism of Masonry Subjected to Compression"
20. Mehlmann, M. and Oppermann, B., 1988, "The Role of Masonry Mortar and Rendering Mortar in Modern Masonry Construction"

21. Ministerio de Fomento, 2006, "Código Técnico de la edificación"
22. Ministerio de Formento, 2001 "EHE-08: Instrucción dehormigón estructural"
23. Norma Tecnológica de la Edificación, 1979 " NTE/FFL: Fachadas de fábrica de ladrillo"
24. Oliveira, D., 2003, "Experimental and numerical análisis of blocky masonry structures under cyclic loading"
25. Page, A. W., 1983 "The Strength of Brick Masonry under Biaxial Tension-Compression"
26. Page, A.W., 1980 "The biaxial compressive strength of Brick Masonry"
27. Pérez Arroyo S., 2000 " La piel del armadillo",
28. Sahlin, S.1971, "Structural Masonry"
29. Samarasinghe, W. and Hendry, A. W., 1980 "The Strength of Brickwork ander Biaxial Tensile and Compressive Stress"
30. Sinha, B. P. and Pedreschi, R., "Compressive Strength and Some Elastic Properties of Brickwork"
31. Smith A.N., 1955, "Investigations on the moisture expansion of porous ceramic bodies", 300-318.
32. Thomas, A., 1971, "Moisture expansion in Brickwork"
33. Tomazevic, M, 1999, "Earthquake-resistant design of masonry buildings"
34. UNE EN 771-1-6, 2011 " Especificaciones de piezas para fábricas de albañilería"